Stratix

Onderzoek LTE-dekking in Nederland

Mogelijkheden voor gebieden zonder snelle vaste internettoegang



RAPPORT

Rapport uitgebracht aan
het ministerie van Economische Zaken

Hilversum, februari 2015

Management samenvatting

Achtergrond en vraagstelling

De beschikbaarheid van snel internet is een steeds belangrijkere factor voor de leefbaarheid en economische ontwikkeling. In stedelijke gebieden is de beschikbaarheid van snel internet meestal geen probleem, en kan er gekozen worden tussen DSL, kabel of glasvezel. Er is echter nog steeds een groep huishoudens en bedrijven in dunbevolkte gebieden (‘buitengebieden’), die niet kan beschikken over een snelle internetverbinding.

Sinds 2012 zijn de Nederlandse mobiele operators bezig met het uitrollen van LTE-netwerken, waarmee ook de mobiele internetsnelheden sterk verhoogd kunnen worden. Een belangrijke vraag is dan ook wat deze LTE-netwerken in delen van het buitengebied kunnen betekenen voor gebruikers zonder snel vast internet.

Het ministerie van Economische zaken heeft Stratix gevraagd onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden die mobiele LTE-netwerken kunnen bieden in gebieden waar geen toegang is tot snel vast internet.

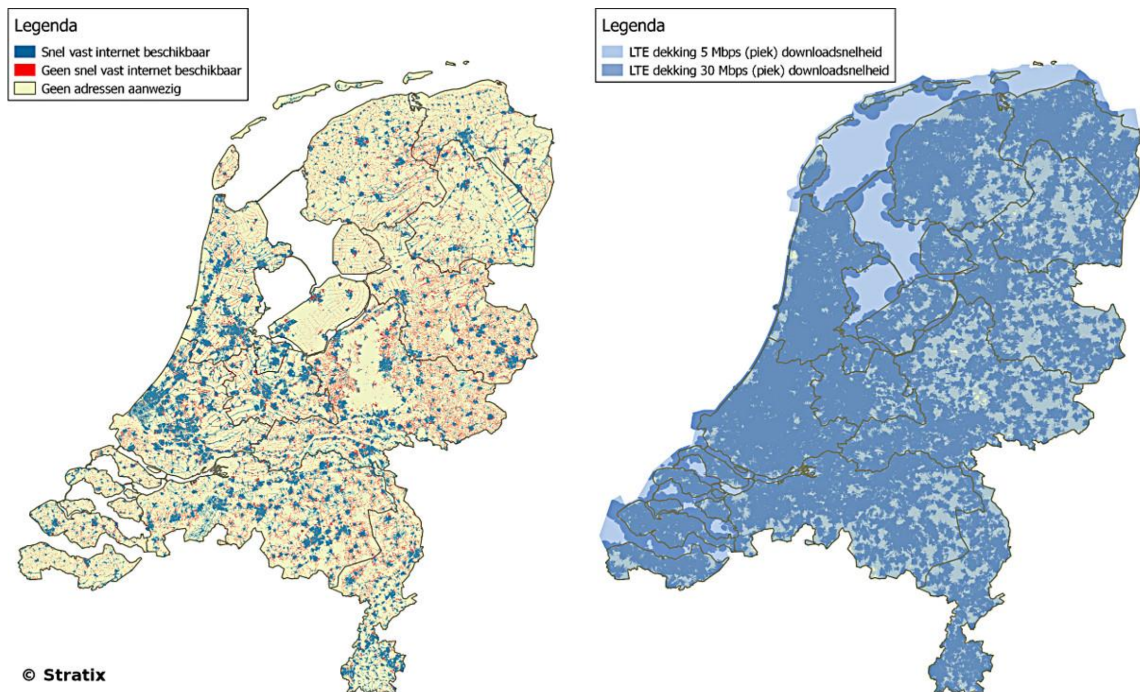
Dekkingsanalyse vast internet en LTE

Een geografische analyse van gegevens van Stratix en ACM over de dekking van vaste netwerken wijst uit dat er in Nederland 196 duizend huishoudens en 132 duizend bedrijfsvestigingen zijn die niet over snel vast internet (≥ 30 Mbps) kunnen beschikken.

Uit dekkingsgegevens die zijn verstrekt door de mobiele operators blijkt dat nagenoeg heel Nederland kan beschikken over een basale mobiele LTE-dekking met pieksnelheden van 5 Mbps of meer, en dat een grote meerderheid van huishoudens en bedrijven kan beschikken over LTE-dekking waar pieksnelheden mogelijk zijn van 30 Mbps of meer.

Een vergelijking van de dekkingsgegevens voor LTE en voor vaste netwerken wijst bovendien uit dat 70% van de huishoudens en 81% van de bedrijfsvestigingen die geen toegang hebben tot snel vast internet, wel beschikken over LTE-dekking met een pieksnelheid van 30 Mbps.

Op de volgende pagina is een figuur opgenomen met de geografische overzichten van de dekking van LTE en snel vast internet in Nederland.



Dekkingskaarten voor vast internet (links) en LTE (rechts)[1]

Theoretische en praktische mogelijkheden van LTE

LTE biedt aanzienlijke verbeteringen ten opzichte van eerdere mobiele technologieën (UMTS/HSDPA). De huidige LTE-netwerken zijn theoretisch in staat datasnelheden te bieden van ten minste 70 Mbps download en 20 Mbps upload.

LTE is ook te benutten als alternatief voor een vaste verbinding. Daarvoor is apparatuur beschikbaar, waarmee de verbinding inpandig via Wi-Fi of een bedraad netwerk gedeeld kan worden. De ontvangst hiervan kan verbeterd worden door gebruik te maken van 'buitenhuis' antennes.

In samenwerking met Agentschap Telecom is een aantal praktijkmetingen uitgevoerd met consumentenapparatuur. Hierbij is gebleken dat dicht bij de LTE-masten downloadsnelheden van 50-70 Mbps haalbaar zijn. Op enkele kilometers van de mast werden echter aanzienlijk lagere snelheden behaald. In combinatie met een speciale richtantenne werden wel snelheden gemeten die vergelijkbaar waren aan de resultaten dicht bij de mast.

Ondersteuning van internettoepassingen door LTE

Voor gebruikers is vooral relevant welke toepassingen de internetverbinding ondersteunt. Veel gebruikte basistoepassingen zoals e-mail, webbrowsen, VoIP en audio streaming belasten het netwerk niet zwaar, en kunnen goed functioneren op de huidige mobiele LTE-

[1] Kaarten met hoog detailniveau (100x100 meter) kunnen worden aangevraagd op: http://www.breedbandatlas.nl/

netwerken. Meer geavanceerde diensten, zoals HD video, online gaming en online storage belasten het netwerk aanzienlijk zwaarder. Bij meerdere gelijktijdige gebruikers kunnen deze toepassingen op LTE leiden tot een verminderde gebruikservaring.

De meeste specialistische toepassingen in de zorg, landbouw en onderwijs kunnen in principe goed functioneren op de huidige LTE-netwerken. Wel speelt bij een aantal van deze toepassingen de stabiliteit en betrouwbaarheid van het netwerk een grote rol. Deze zullen op mobiele netwerken echter altijd minder zijn dan op vaste netwerken.

Gedeelde capaciteit en congestie

Bij mobiele netwerken wordt de beschikbare capaciteit in een 'sector' gedeeld door de gebruikers. Hoewel ook veel vaste aanbieders overboekingen hanteren, wijkt LTE af in de zin dat een relatief beperkte capaciteit wordt gedeeld door een groep gebruikers. Hierdoor is de kans op congestie bij gelijktijdig gebruik aanzienlijk groter.

Verkeersvolumes en datalimieten

Uit een analyse van verkeersgegevens van vaste ISP's is gebleken dat het datagebruik bij vaste netten tientallen malen hoger ligt dan bij mobiele netten. Dit betekent in de praktijk dat wanneer een mobiele dienst wordt gebruikt als vervanger voor vast, met de bijbehorende datavolumes, de datalimieten van de huidige abonnementen zeer waarschijnlijk worden overschreden.

Conclusie

De huidige mobiele LTE-netwerken kunnen een duidelijke verbetering vormen voor gebruikers in het buitengebied die geen toegang hebben tot snel vast internet. Met name voor gebruikers die maximaal kunnen beschikken over een (ADSL) verbinding met snelheden lager dan 5 Mbps, kan LTE een aanzienlijke verbetering betekenen. Het werkelijk ervaren dienstenniveau, en de toegevoegde waarde die dit biedt voor gebruikers, zal echter sterk afhankelijk zijn van het profiel van die gebruikers.

Stratix

Inhoud

1 Inleiding

De beschikbaarheid van snel internet is een steeds belangrijkere factor voor de leefbaarheid en economische ontwikkeling. Naarmate meer Nederlanders de beschikking hebben over snel, breedbandig internet worden ook meer dagelijkse voorzieningen erop berekend, waardoor men steeds meer afhankelijk van snel internet wordt voor het kunnen functioneren in het dagelijks leven.

In de Digitale Agenda voor Europa van de Europese Commissie staat de doelstelling opgenomen dat tegen 2020 alle Europeanen toegang hebben tot snel internet (30 Mbps of meer) en ten minste 50% van de huishoudens in de Europese Unie over een internetverbinding van meer dan 100 Mbps beschikt. Het kabinet heeft deze ambitie overgenomen, maar acht het daarnaast vooral belangrijk dat in 2020 de netwerken goed blijven aansluiten op de vraag van gebruikers en aanbieders van diensten.

Hoge beschikbaarheid van snel internet in Nederland

In stedelijke gebieden is de beschikbaarheid van snel internet meestal geen probleem: al jaren kan gebruik worden gemaakt van DSL of kabel, en beide technologieën bieden steeds hogere bandbreedtes. Bovendien wordt er steeds meer glasvezel naar woningen (Fiber-to-the-Home, of FttH) en bedrijven (FttO) uitgerold. De maximaal aangeboden download-snelheden liggen voor een grote meerderheid van de Nederlandse adressen inmiddels (ruim) boven de 100 Mbps, en de verwachting is dat deze snelheden de komende jaren nog verder zullen toenemen.

Naast de toegenomen beschikbaarheid worden er ook steeds meer internetverbindingen met een hoge aansluitcapaciteit afgenomen. Volgens ACM[2] beschikt 46% van de vaste internetabonnementen in Nederland inmiddels over downloadsnelheden van 30 Mbps of meer. Wat betreft daadwerkelijk behaalde snelheden worden door vooraanstaande meetinstanties Akamai[3] en Ookla[4] gemiddelde (piek) downloadsnelheden gemeten in Nederland van respectievelijk 53 Mbps en 46 Mbps.

Op het gebied van breedband infrastructuur presteert Nederland internationaal gezien goed. Volgens recent onderzoek door de Europese Commissie behoort Nederland binnen Europa tot de koplopers op gebied van breedbandinfrastructuur[5] en beschikt reeds ruim 97% van de Nederlanders over toegang tot snel internet.

Beperkte beschikbaarheid van snel internet in buitengebied

Ondanks de goede prestaties van Nederland op het gebied van breedband is er nog steeds een groep huishoudens en bedrijfsvestigingen die niet kan beschikken over een snelle internetverbinding. Deze huishoudens en bedrijfsvestigingen bevinden zich veelal in afgelegen dunbevolkte gebieden ('buitengebieden'), waar geen kabelaansluiting of

---

[2] Bron: ACM Telecommonitor, 3e kwartaal 2014
[3] Bron: 'Akamai's State of the Internet Report', Akamai, Q3 2014
[4] Bron: 'Netindex Explorer' (http://www.netindex.com/), Ookla, februari 2015
[5] Bron: 'Broadband Coverage in Europe 2013', European Commission

glasvezelaansluiting verkrijgbaar is en waar de snelheid van DSL beperkt is door de afstand tot de centrale.

Het aanleggen van nieuwe vaste breedbandnetwerken in het buitengebied is een dure aangelegenheid, met name door de grote graafafstanden en de lage dichtheid van woningen en bedrijven. Voor hun internetverbinding is deze groep daarom vaak afhankelijk van een ADSL of satelliet–aansluiting met beperkte capaciteit. De maximale snelheden die worden aangeboden op de plaatsen waar kabel of glas beschikbaar zijn liggen op respectievelijk 200 Mbps en 500 Mbps, terwijl in het buitengebied nog adressen zijn waar maximaal 2 Mbps ADSL verkrijgbaar is. Het verschil in internetsnelheden tussen het buitengebied en het stedelijk gebied wordt door de uitrol van glasvezel, VDSL en opwaardering van kabelnetwerken steeds groter. Deze groep huishoudens en bedrijven loopt daarmee het risico achter te blijven bij de snelle ontwikkelingen op het gebied van breedband.

Om een digitale tweedeling en economische achteruitgang te voorkomen, en om de leefbaarheid in het buitengebied te bevorderen, maken steeds meer (decentrale) overheden en belangenorganisaties zich sterk voor de aanleg van snel internet in hun gehele regio, dus ook in het buitengebied.

De minister van Economische Zaken heeft aan de Tweede Kamer toegezegd de knelpunten voor de dekking van snel internet in het buitengebied in kaart te brengen en na te gaan wat de uitrol van de mobiele 4G-netwerken zou kunnen betekenen voor huishoudens en bedrijven in het buitengebied. Naar aanleiding hiervan werd het onderhavige onderzoek uitgevoerd.

Opkomst snel mobiel internet

De vier grootste Nederlandse mobiele operators zijn sinds 2012 bezig met het uitrollen van LTE-netwerken om 'supersnel' mobiel internet aan te kunnen bieden. KPN en Vodafone hebben sinds 2014 nagenoeg landelijke dekking, T-Mobile verwacht eind 2015 landelijke dekking gerealiseerd te hebben en ook Tele2 heeft plannen voor landelijke uitrol. Het ministerie van Economische Zaken heeft aan Stratix gevraagd te onderzoeken in hoeverre de mobiele LTE-netwerken dekking bieden in buitengebieden zonder vast snel internet. Daarnaast heeft het ministerie van Economische Zaken gevraagd in welke mate deze mobiele netwerken kunnen voorzien in de behoefte aan snel internet in de buitengebieden.

Alleen dekking is echter niet genoeg: dekking betekent dat het netwerk bereikt kan worden, maar zegt niets over de datasnelheden die hiermee realistisch en structureel kunnen worden gerealiseerd. Voor de mate waarin de netwerken een verbetering kunnen betekenen voor bewoners van het buitengebied, zijn vooral de daadwerkelijk te realiseren down- en uploadsnelheden relevant. Hierbij spelen zaken als overboeking (aantal gelijktijdige gebruikers in een 'cel'), de afstand tot het opstelpunt (waar de antenne geplaatst is) en de hoeveelheid gebruikt spectrum een rol.

1.1 Vraagstelling

Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoek dat Stratix op verzoek van het ministerie van Economische Zaken heeft uitgevoerd. De doelstelling van het onderzoek is:

De dekking van LTE-netwerken (voor mobiel internet) in kaart te brengen en inzicht te geven in wat deze netwerken kunnen betekenen voor mensen in buitengebieden met gebrekkige 'vaste' internet toegang.

Bij de beantwoording van deze vraag spelen een aantal deelonderwerpen:

- *Hoeveel huishoudens en bedrijven hebben geen beschikking over snel internet via ten minste één vast netwerk en waar bevinden deze huishoudens en bedrijven zich?*
- *In welke gebieden in Nederland waar geen vast snel internet beschikbaar is, is sprake van LTE-buitenhuisdekking, en om hoeveel huishoudens en bedrijven gaat dit?*
- *Wat kan speciale randapparatuur (bijvoorbeeld een buitenantenne) betekenen voor een LTE-verbinding die gebruikt wordt om apparaten binnenshuis of op kantoor aan te sluiten als alternatief voor een vaste internetaansluiting?*
- *Voor welk type diensten is een LTE-verbinding geschikt?*
- *In welke mate kunnen de huidige LTE-netwerken dienen als alternatief voor een vaste internetverbinding?*

1.2 Scope en afbakening

Dit onderzoek is bedoeld om de hierboven beschreven onderzoeksvragen te beantwoorden.

Afbakening begrippen 4G en LTE

De technologiestandaard van de nieuwste generatie mobiele breedbandnetwerken die in Nederland worden uitgerold is LTE (Long-Term Evolution), maar wordt vaak ook '4G' genoemd (voor vierde generatie mobiel).

LTE-netwerken binnen dit onderzoek

LTE-technologie kan naast inzet voor mobiele toepassingen van mobiele toestellen (o.a. smartphones en tablets), waarbij gebruikers zich vrij kunnen bewegen binnen het verzorgingsgebied, ook worden ingezet als alternatief voor vaste draadloze (internet) toegang.

Bij 'vaste' draadloze toegang wordt LTE (lokaal) ingezet om de internetverbinding te verzorgen van een vaste locatie (huis of bedrijf), waarbij het wordt gebruikt als 'last mile' of zogenaamde 'wireless local loop'.

In dit onderzoek richten wij ons op de landelijk uitgerolde *mobiele* LTE-netwerken. Dat wil zeggen de netwerken van KPN, Vodafone, T-Mobile en Tele2 die in eerste instantie zijn ingericht op mobiel gebruik.

Dekkingsinformatie mobiele operators

De dekkingsoverzichten die in dit rapport zijn opgenomen, zijn gebaseerd op dekkingsinformatie die is aangeleverd door de landelijke mobiele operators.

Voor de correctheid en interpretatie van de dekkingsinformatie was Stratix voornamelijk afhankelijk van hetgeen de mobiele operators hebben aangeleverd. Hoewel de aangeleverde informatie is beoordeeld, is er binnen dit onderzoek niet de mogelijkheid geweest om de dekkingsinformatie – anders dan door een enkele steekproef– op grote schaal te toetsen.

Momentopname en herhaalbaarheid

De studie betreft bovendien een momentopname, zeker ten aanzien van de mobiele dekking. Aangezien de mobiele operators op dit moment nog volop bezig zijn met de uitrol en (her)inrichting van hun netwerken, is deze informatie zeer veranderlijk. De overzichten in dit rapport zijn gebaseerd op dekkingsgegevens van begin 2015. Niet alleen de dekking zoals deze gepresenteerd is kan wijzigen, ook de beschikbare breedbanddiensten op het vaste net zullen de komende jaren worden uitgebreid door de verdere uitrol van glasvezel en door upgrades van de kabel- en DSL netwerken.

Er is in de opzet rekening gehouden dat, indien gewenst, het onderzoek herhaald kan worden en de uitkomsten met elkaar kunnen worden vergeleken.

De steekproef

Om een indicatie te krijgen van de werkelijk gerealiseerde bandbreedtedekking in het buitengebied heeft het Agentschap Telecom een steekproef uitgevoerd van beperkte omvang. Deze steekproef dient ter ondersteuning en illustratie van het onderzoek, en is niet bedoeld om een controle uit te voeren op de dekkingsgegevens die zijn aangeleverd door de mobiele operators. De omvang van de steekproef is te beperkt om (statistisch verantwoord) algemene conclusies te trekken op dit gebied.

Performance van mobiele apparatuur buiten beschouwing

Er is in het onderzoek niet gekeken naar de performance van de netwerken in relatie tot 'mobiele' apparatuur, d.w.z. apparatuur met de intentie om portable en/of bewegend gebruikt te worden, zoals smartphones. Immers zal bij de eventuele inzet van LTE als een alternatief voor vaste breedbandaansluitingen er typisch gebruik worden gemaakt van stationaire apparatuur, zoals een LTE-router met buitenantenne.

1.3 Opbouw rapport/leeswijzer

In dit rapport wordt in hoofdstuk twee een analyse gedaan naar de dekking van snel vast internet en de dekking van LTE van de grootste operators. Vervolgens wordt in hoofdstuk drie de werking en theoretische performance van LTE toegelicht en worden de resultaten van de praktijkmetingen gepresenteerd. Hoofdstuk 4 focust op de gebruikerskant; per toepassing wordt uitgelegd welke down-, en uploadsnelheden nodig zijn en er wordt ingegaan op de verkeersvolumes zoals deze gebruikelijk zijn bij een vaste internetverbinding. In hoofdstuk vijf wordt een illustratie gegeven van een typische situatie in het buitengebied waarin elementen uit hoofdstuk 3 en 4 terugkomen. Vervolgens wordt het rapport afgesloten met conclusies in hoofdstuk zes.

2 Kwantitatieve analyse dekking

In dit hoofdstuk wordt nader onderzocht waar de huishoudens en bedrijfsvestigingen die niet beschikken over snel (vast) internet zich bevinden. Daarvoor is allereerst in kaart gebracht hoeveel bedrijven en huishoudens geen beschikking hebben over snel vast internet. Daarna is de LTE-dekking van mobiele operators bepaald. De combinatie van deze gegevens geeft inzicht in de aantallen huishoudens en bedrijven waar deze mobiele dekking in potentie iets voor kan betekenen.

2.1 Gebieden zonder snel vast internet

2.1.1 Afbakening 'snel internet toegang'

Er is geen eenduidige definitie van 'snel breedband'. Dit komt mede doordat vanuit gebruiksperspectief voor de ene applicatie een netwerk 'snel' kan zijn terwijl hetzelfde netwerk vanuit andere toepassingen of visies bezien als 'traag' kan worden bestempeld.

Kwantitatieve doelstellingen Digitale Agenda

De Europese Commissie hanteert in het kader van de Digitale Agenda een doelstelling waarbij in 2020 respectievelijk 30 Mbps voor alle, en 100 Mbps voor 50% van de huishoudens beschikbaar dient te zijn.

Hoewel deze doelstelling een richting biedt, kan deze op meerdere manieren geïnterpreteerd worden. Voor dit onderzoek zijn, in navolging van TNO[6], de aangegeven snelheden geïnterpreteerd als pieksnelheden ('peak bitrate') in de downloadrichting, wat betekent dat de toegangslijn in principe in staat is de genoemde capaciteit of downloadsnelheid te bieden[7].

Definitie snel vast internet ten behoeve van dit onderzoek

Voor dit onderzoek is ten behoeve van het in kaart brengen van gebieden zonder snel vast internet uitgegaan van de volgende definitie:

> *Onder snel vast internet worden in dit onderzoek vaste breedbandnetwerken verstaan die (piek) downloadsnelheden kunnen bieden van ten minste 30 Mbps.*

In de huidige marktsituatie en de huidige stand van de technologische ontwikkeling worden deze snelheden op het vaste net geboden op de meeste kabelnetwerken op basis van DOCSIS 2.0 of hoger, via VDSL, en op de Glasvezelnetwerken. Er is voor een grens van 30 Mbps gekozen omdat dit aansluit bij de doelstelling van de Digitale Agenda en omdat deze past bij de scope van dit onderzoek.

---

[6] 'Mogelijkheden voor draadloze breedbandontsluiting van buitengebieden in Nederland', TNO 2013

[7] In de praktijk is het mogelijk dat de beschikbare capaciteit in bepaalde situaties (aanzienlijk) lager uitvalt, bijvoorbeeld bij gelijktijdige belasting door meerdere gebruikers.

2.1.2 Overzicht dekking snel vast internet

Om de beschikbaarheid van snel vast internet in kaart te brengen is bij dit onderzoek gebruik gemaakt van twee afzonderlijke bronbestanden met dekkingsgegevens van vaste internet-infrastructuur. De eerste bron is een Stratix database met dekkingsgegevens van vaste netwerken. Stratix heeft deze database op eigen kosten ontwikkeld ter ondersteuning van onze onafhankelijke onderzoeken. De database is gebaseerd op publieke gegevens van internetproviders en eigen onderzoek. De tweede bron is de ACM, welke dekkingsgegevens heeft opgevraagd de bij de grootste internetproviders in Nederland. In Annex B wordt meer toelichting gegeven over de gebruikte brongegevens.

Op basis van de dekkingsgegevens is een geografisch overzicht samengesteld met de dekking van vast internet in Nederland, weergegeven in figuur 2.1. Kaarten met hoog detailniveau (100x100 meter) kunnen worden aangevraagd op:
http://www.breedbandatlas.nl/

2.1.3 Analyse gebieden zonder snel vast breedband

Snel vast internet is voornamelijk beschikbaar in de dichtbevolkte gebieden van Nederland. In termen van oppervlakte lijkt een aanzienlijk deel van Nederland op dit momenteel niet te beschikken over snel vast internet. Dit zijn echter voornamelijk gebieden waar zich weinig adressen bevinden.

In tabel 2.1 is (afgerond op duizendtallen) per provincie weergegeven hoeveel huishoudens en bedrijfsvestigingen niet beschikken over VDSL, kabel of glasvezel (FttH of FttO), bepaald op basis van de dekkingsgegevens gekoppeld aan CBS-gegevens over aantallen huishoudens en bedrijfsvestigingen per postcode. De aantallen betreffen het gemiddelde van de aantallen van beide bronnen[8].

Tabel 2.1: Aantal locaties zonder VDSL, kabel (Docsis 2.0 of hoger) of glasvezel (FttH of FttO) [bron: Stratix, ACM en CBS gegevens]

	Huishoudens			Bedrijfsvestigingen		
Provincie	Totaal	Zonder snel breedband		Totaal	Zonder snel breedband	
Drenthe	211.000	10.000	(5%)	37.000	5.000	(14%)
Flevoland	163.000	8.000	(5%)	33.000	6.000	(18%)
Friesland	285.000	16.000	(6%)	53.000	8.000	(15%)
Gelderland	880.000	37.000	(4%)	172.000	23.000	(13%)
Groningen	287.000	12.000	(4%)	42.000	4.000	(10%)
Limburg	517.000	9.000	(2%)	81.000	7.000	(9%)
Noord-Brabant	1.092.000	25.000	(2%)	225.000	20.000	(9%)
Noord-Holland	1.298.000	19.000	(1%)	295.000	16.000	(5%)
Overijssel	484.000	26.000	(5%)	87.000	13.000	(15%)
Utrecht	562.000	9.000	(2%)	125.000	8.000	(6%)
Zeeland	171.000	5.000	(3%)	30.000	3.000	(10%)
Zuid-Holland	1.640.000	19.000	(1%)	299.000	17.000	(6%)
Nederland	**7.590.000**	**196.000**	**(3%)**	**1.478.000**	**132.000**	**(9%)**

[8] Zie Annex B; de aantallen adressen zonder snel vast internet per provincie komen goed overeen.



Figuur 2.1: Beschikbaarheid van snel vast internet in Nederland[9]

[9] In dit overzicht zijn de dekkingsgegevens voor Nederland geprojecteerd op een 100x100 meter raster, waarbij alleen die 100x100 meter rasterpunten zijn opgenomen waar zich minimaal één adres bevindt. Voor elk van deze rasterpunten is aangegeven of hier wel of geen snel vast internet (30 Mbps of meer) beschikbaar is.

Volgens deze dekkingsgegevens kunnen van de ruim 7,5 miljoen huishoudens in Nederland er ongeveer 196 duizend niet beschikken over een vaste internetverbinding met downloadsnelheden van ten minste 30 Mbps. Dit betreft minder dan 3% van alle huishoudens.

Van de bijna 1,5 miljoen bedrijfsvestigingen in Nederland kunnen er ongeveer 132 duizend niet beschikken over een vaste internetverbinding met downloadsnelheden van ten minste 30 Mbps. Dit betreft ongeveer 9% van alle bedrijfsvestigingen in Nederland.

Relatief gezien vallen bedrijven dus vaker buiten het bereik van snel vast internet dan huishoudens. Dit is te verklaren doordat de verhouding tussen het aantal bedrijfsvestigingen en huishoudens in het buitengebied hoger is dan in stedelijk gebied, o.a. door de aanwezigheid van agrarische bedrijven. Daarnaast is bepaalde (primair op consumenten en MKB gerichte) breedbandinfrastructuur, zoals de kabel, vaak niet aanwezig op bedrijventerreinen.

Verder valt te zien dat er in de dichtstbevolkte provincies (Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht) weliswaar minder huishoudens en bedrijfsvestigingen zijn die niet kunnen beschikken over snel vast internet, maar dat de verschillen tussen de provincies niet heel groot zijn. Ook in de dichtbevolkte provincies in de Randstad zijn er gebieden waar geen snelle vaste internetverbinding beschikbaar is.

Tabel 2.2: Vergelijking dichtstbevolkte provincies en overige provincies

	Huishoudens		Bedrijfsvestigingen	
Provincie	Totaal	Zonder snel breedband	Totaal	Zonder snel breedband
Dichtstbevolkte provincies (NH, ZH, UT)	3.500.000	47.000 (1%)	719.000	41.000 (6%)
Overige provincies	4.090.000	149.000 (4%)	759.000	91.000 (12%)

2.2 Dekking in Nederland

Sinds 2014 is er in nagenoeg heel Nederland een vorm van LTE-dekking van ten minste één aanbieder. Om te kijken wat dit kan betekenen voor huishoudens en bedrijven in meer landelijke gebieden, is gekeken wat deze dekking inhoudt, en welke bandbreedtes redelijkerwijs gehaald kunnen worden.

Hiertoe is, op basis van dekkingsinformatie aangeleverd door de drie grootste mobiele operators (KPN, Vodafone en T-Mobile[10]), een overzicht van de gezamenlijke buitenhuisdekking opgesteld. In deze paragraaf wordt nader toegelicht hoe dit gezamenlijke dekkingsoverzicht tot stand is gekomen, en worden de resultaten weergegeven en geanalyseerd.

---

[10] Zie Annex D voor verdere details over de opgevraagde dekkingsinformatie

2.2.1 Gegevensverzameling LTE-dekking

Om mobiele netwerken te kunnen ontwerpen, inrichten en optimaliseren beschikken mobiele operators over radioplanningssystemen waarmee zij de dekking van hun netwerken kunnen modelleren op basis van radiopropagatie-modellen[11] die door de operators worden geijkt met behulp van veldmetingen. De dekkingsoverzichten die hieruit voortkomen en de interpretatie daarvan zijn sterk afhankelijk van de aannames en invoerparameters die operators hanteren. Zonder metingen ter plekke geeft een dergelijk overzicht dan ook geen absolute zekerheid over de dekking op een specifieke locatie. Wij spreken daarom van een ‘administratieve’ dekking.

2.2.2 Dekkingscriteria

Om tot een dekkingskaart te komen, hanteren de operators een aantal criteria waaraan een locatie moet voldoen om tot het dekkingsgebied gerekend te worden.

Hieronder wordt een aantal keuzes en parameters toegelicht die relevant zijn bij het opstellen van dekkingscriteria. Om dekkingsgegevens van de verschillende operators op een zo uniform mogelijke wijze uit te vragen dienen dekkingscriteria volledig en eenduidig te zijn. Daardoor is er zo min mogelijk ruimte voor verschillen in interpretatie en modelaannames. De criteria die zijn gehanteerd in de uitvraag van dekkingsgegevens richting de operators worden hieronder toegelicht en aanvullende informatie hierover is beschikbaar in Annex D.

Minimale signaalsterkte of bandbreedte

Dekkingscriteria kunnen worden gerelateerd aan signaalsterkte en signaalkwaliteit of aan de kwaliteit van dienstverlening (bijvoorbeeld de beschikbare downloadcapaciteit).

Er is gekozen om beide criteria te hanteren omdat een drempel op signaalsterkte een objectievere manier vormt om dekking te bepalen[12], terwijl een drempel op downloadcapaciteit eenvoudiger te interpreteren is, en beter te relateren valt aan gebruikerservaring.

De drempelwaarden op downloadcapaciteit zijn hierbij vastgesteld op 5 Mbps en 30 Mbps (pieksnelheid). In de praktijk betekent dit er binnen het dekkingsgebied voldoende signaalsterkte wordt gehaald dat (piek) downloadsnelheden van respectievelijk 5 Mbps en 30 Mbps mogelijk zijn onder een aantal (model)aannames[13].

De waarde van 5 Mbps downloadcapaciteit is gekozen als het minimale dienstenniveau waarbij LTE voor veel gebruikers in het buitengebied nog een meerwaarde kan hebben ten opzichte van een vaste verbinding. De gekozen drempelwaarde van 30 Mbps voor downloadcapaciteit is vastgesteld op basis van de doelstelling van de EU om iedereen in de Europese Unie van ten minste 30 Mbps internet te voorzien.

---

[11] Een radiopropagatiemodel is een wiskundige modellering van de signaalsterkte

[12] Bij vertaling van signaalsterke naar downlink capaciteit (en in mindere mate voor uplink) spelen in de modellering meerdere factoren en aannames een rol waardoor verschillen kunnen ontstaan tussen operators/netwerken.

[13] Een berekening van de drempelwaarden op signaalsterkte voor LTE-800 is weergegeven in Annex D

Dekkingswaarschijnlijkheid

De sterkte van een radiosignaal varieert in plaats en tijd, zelfs binnen zeer korte afstanden (tientallen centimeters). Het is daarom niet voldoende om aan te geven welke signaalsterkte in een bepaald gebied beschikbaar is, maar er moet tevens vermeld worden met welke waarschijnlijkheid dat signaal op een willekeurig tijdstip en op een willekeurige locatie binnen dat gebied beschikbaar is.

De dekkingswaarschijnlijkheid geeft de kans, zowel in tijd als in plaats, dat binnen een gebied een bepaalde (vereiste) signaalsterkte ook daadwerkelijk wordt behaald. Praktisch betekent dit dat wanneer een netwerk wordt gemodelleerd met een hogere dekkingswaarschijnlijkheid, er meer signaalsterkte is nodig om de onzekerheidsmarge in het model te compenseren. Ter illustratie: Een dekkingswaarschijnlijkheid van 95% vereist een circa tien maal zo sterk signaal (10dB hoger) als een dekkingswaarschijnlijkheid van 50%.

Voor dit onderzoek is een dekkingswaarschijnlijkheid genomen van 95%, aangezien dit de meest gangbare waarde is voor het samenstellen van dekkingsoverzichten.

Overigens betekent dit niet dat het dienstenniveau (downloadsnelheid) waarop de dekking is gemodelleerd met 95% waarschijnlijkheid zal worden gehaald, maar enkel dat de daarbij behorende signaalsterkte met ten minste 95% waarschijnlijkheid wordt gehaald.

Type dekking (buitenshuis of binnenshuis)

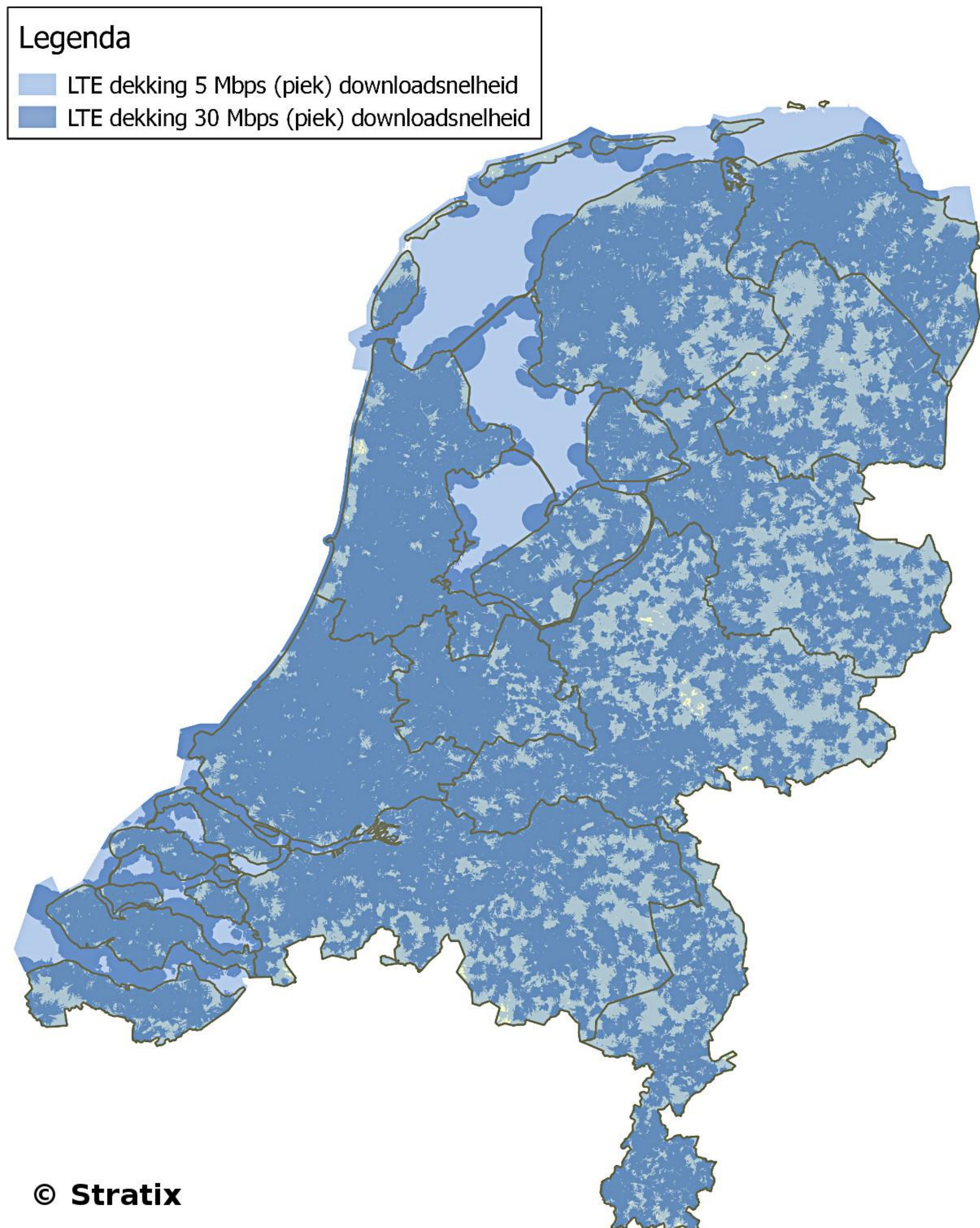
Ook relevant is of de dekking buitenshuis of binnenshuis geldt, en op welke hoogte (meestal straatniveau). Voor locaties binnenshuis geldt in de regel dat er meer demping is door muren of andere obstakels. Als gevolg daarvan vereist een bepaalde binnenhuisdekking een hoger signaalniveau dan dezelfde dekking buitenshuis. Er is in dit onderzoek uitgegaan van buitenhuis-dekking, aangezien bij gebruik van mobiele LTE-netwerken als alternatief voor een vaste internetverbinding gebruik kan worden gemaakt van een buitenantenne, waardoor de uitkomsten niet zonder meer toepasbaar zijn voor alle mobiele breedband aansluitingen.

Verkeersvolumes

Doordat de bandbreedte bij mobiele netwerken wordt gedeeld door de gebruikers in een cel zijn verkeerspatronen van belang voor de download en upload capaciteit waarover een individuele gebruiker kan beschikken. Concurrerend verkeer heeft niet of nauwelijks invloed op de signaalsterkte die wordt ervaren, maar beïnvloedt wel de (download)capaciteit die beschikbaar is bij een bepaalde signaalsterkte. Voor de dekking gaan we uit van het huidige verkeersvolume van de operators, dat nu nog beperkt is doordat er op dit moment nog relatief weinig LTE-abonnees zijn.

2.2.3 Overzicht administratieve dekking LTE

Op basis van de verkregen gegevens van de operators is een geografisch overzicht samengesteld met de buitenhuisdekking in Nederland onder de voorwaarden die in de voorgaande paragraaf zijn toegelicht. Het overzicht in figuur 2.2 toont de dekkingsgebieden waar volgens de verstrekte gegevens een (piek)downloadcapaciteit beschikbaar is van respectievelijk 5 Mbps en 30 Mbps van ten minste één operator. Kaarten met hoog detailniveau (100x100 meter) zijn beschikbaar op: http://www.breedbandatlas.nl/.



Figuur 2.2: LTE-buitenhuisdekking op basis van dekkingsgegevens aangeleverd door KPN, Vodafone en T-Mobile

Hierbij dient wel de kanttekening te worden geplaatst dat het dienstenniveau dat in de praktijk op een mobiel netwerk wordt ervaren sterk afhankelijk is van meerdere factoren.

Zoals verderop in dit rapport wordt aangetoond kunnen gebruikersapparatuur en concurrerend verkeer van grote invloed zijn, en spelen ook wisselende radiocondities een rol.

2.2.4 Analyse gebieden zonder LTE-dekking

Uit het geografische overzicht blijkt dat volgens de dekkingsgegevens van de operators nagenoeg heel Nederland ten minste kan beschikken over een basale vorm van LTE-dekking met een (piek) downloadcapaciteit van 5 Mbps. Echter kan nog niet heel Nederland beschikken over hoge downloadsnelheden (pieksnelheden van 30 Mbps of meer). De gebieden die buiten dekking vallen met (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps bevinden zich voornamelijk in relatief dunbevolkte gebieden in het oostelijke deel van het land.

Om exact te bepalen hoeveel huishoudens en bedrijfsvestingen in Nederland niet beschikken over (snelle) LTE-dekking zijn de dekkingsgegevens gekoppeld aan CBS-gegevens over de aantallen huishoudens en bedrijfsvestigingen per postcode. Hieruit is gebleken dat het aantal huishoudens en bedrijfsvestigingen in Nederland dat niet kan beschikken over een minimale LTE-dienst met (piek) downloadcapaciteit van 5 Mbps inderdaad verwaarloosbaar klein is (minder dan 500 adressen in totaal).

Het aantal huishoudens en bedrijfsvestigingen dat niet beschikt over dekking met een (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps is per provincie weergegeven in tabel 2.3. De aantallen in deze tabel zijn afgerond op duizendtallen.

Tabel 2.3: Aantal adressen zonder LTE-dekking met (piek) downoadcapaciteit van 30 Mbps

	Huishoudens		Bedrijfsvestigingen	
Provincie	**Totaal**	**Zonder LTE 30Mbps**	**Totaal**	**Zonder LTE 30Mbps**
Drenthe	211.000	44.000 (21%)	37.000	9.000 (24%)
Flevoland	163.000	11.000 (7%)	33.000	3.000 (9%)
Friesland	285.000	48.000 (17%)	53.000	10.000 (19%)
Gelderland	880.000	112.000 (13%)	172.000	26.000 (15%)
Groningen	287.000	32.000 (11%)	42.000	6.000 (14%)
Limburg	517.000	53.000 (10%)	81.000	10.000 (12%)
Noord-Brabant	1.092.000	70.000 (6%)	225.000	19.000 (8%)
Noord-Holland	1.298.000	35.000 (3%)	295.000	9.000 (3%)
Overijssel	484.000	54.000 (11%)	87.000	13.000 (15%)
Utrecht	562.000	14.000 (2%)	125.000	4.000 (3%)
Zeeland	171.000	18.000 (11%)	30.000	4.000 (13%)
Zuid-Holland	1.640.000	30.000 (2%)	299.000	7.000 (2%)
Nederland	**7.590.000**	**522.000 (7%)**	**1.478.000**	**121.000 (8%)**

Volgens deze gegevens wonen van de ruim 7,5 miljoen huishoudens in Nederland er ongeveer 522 duizend op locaties waar LTE geen (piek) downloadcapaciteit kan bieden van 30 Mbps. Dit betreft ongeveer 7% van alle huishoudens.

Van de bijna 1,5 miljoen bedrijfsvestigingen in Nederland bevinden zich er ongeveer 121 duizend op locaties waar geen dekking is met een (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps. Dit betreft ongeveer 8% van alle bedrijfsvestigingen in Nederland.

2.3 Analyse gebieden zonder snel vast internet en met LTE

Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden die LTE kan bieden voor huishoudens en bedrijven die niet beschikken over snel vast internet, is het van belang hoeveel van deze huishoudens en bedrijven zonder snel vast internet, wel of niet beschikken over (snelle) LTE-dekking. Om dit te bepalen zijn de resultaten van de dekkingsanalyse van snel vast internet gekoppeld aan de dekkingsanalyse. Het resultaat op hoofdlijnen wordt getoond in tabel 2.4.

Tabel 2.4: Dekking voor bedrijven en huishoudens zonder snel vast internet

		LTE dekking 30 Mbps		LTE dekking 5 Mbps
	Totaal	Geen dekking	Wel dekking	Geen dekking
Huishoudens	7.590.000	522.000 (7%)	7.068.000 (93%)	< 500 (< 1%)
Huishoudens zonder snel internet	196.000	58.000 (30%)	138.000 (70%)	< 500 (< 1%)
Bedrijfsvestigingen	1.478.000	121.000 (8%)	1.357.000 (92%)	< 500 (< 1%)
Bedrijfsvestigingen zonder snel internet	132.000	25.000 (19%)	107.000 (81%)	< 500 (< 1%)

Uit deze gegevens blijkt dat van de 196 duizend huishoudens zonder toegang tot snel vast internet er 138 duizend (70%) wonen op locaties waar dekking is met (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps. Hetzelfde geldt voor bedrijfsvestigingen, waar van de 132 duizend vestigingen zonder toegang tot snel vast internet er 107 duizend (81%) zich bevinden op locaties waar LTE-dekking is met een (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps.

Kortom, het merendeel van de huishoudens en bedrijven die geen toegang hebben tot snel vast internet kan wel over een goede LTE-dekking beschikken.

2.3.1 Locaties zonder vast Internet en zonder goede LTE-dekking

Ondanks het feit dat veel huishoudens en bedrijven beschikken over snel vast internet of goede LTE-dekking, zijn er nog 58 duizend huishoudens en 25 duizend bedrijfsvestigingen die hier niet over beschikken. In tabel 2.5 is weergegeven hoe deze zijn verspreid over de provincies.

Tabel 2.5: Huishoudens en bedrijfsvestigingen die niet beschikken over snel vast internet of LTE-dekking met 30 Mbps downloadcapaciteit

	Huishoudens			Bedrijfsvestigingen		
Provincie	Totaal	Zonder dekking 30 Mbps (vast of LTE)		Totaal	Zonder dekking 30 Mbps (vast of LTE)	
Drenthe	211.000	4.500	(2,1%)	37.000	1.500	(4,1%)
Flevoland	163.000	1.500	(0,9%)	33.000	1.500	(4,5%)
Friesland	285.000	6.000	(2,1%)	53.000	2.500	(4,7%)
Gelderland	880.000	13.500	(1,5%)	172.000	6.000	(3,5%)
Groningen	287.000	3.500	(1,2%)	42.000	1.000	(2,4%)
Limburg	517.000	3.000	(0,6%)	81.000	1.500	(1,9%)
Noord-Brabant	1.092.000	8.000	(0,7%)	225.000	4.000	(1,8%)
Noord-Holland	1.298.000	2.000	(0,2%)	295.000	1.000	(0,3%)
Overijssel	484.000	11.000	(2,3%)	87.000	4.000	(4,6%)
Utrecht	562.000	1.500	(0,3%)	125.000	1.000	(0,8%)
Zeeland	171.000	1.000	(0,6%)	30.000	500	(1,7%)
Zuid-Holland	1.640.000	1.500	(0,1%)	299.000	1.000	(0,3%)
Nederland	**7.590.000**	**57.500**	**(0,8%)**	**1.478.000**	**25.000**	**(1,7%)**

3 Breedband toegang via LTE

In dit hoofdstuk wordt onderzocht wat de theoretische en praktische mogelijkheden zijn van de landelijk uitgerolde mobiele LTE-netwerken voor het bieden van internettoegang in het buitengebied. Daartoe wordt eerst een beknopte beschrijving gegeven van gebruikte technologie en de factoren die van belang zijn voor het dienstenniveau dat (theoretisch) gerealiseerd kan worden. Daarna wordt gekeken naar de mogelijkheden die speciale randapparatuur, zoals speciale routers en richtantennes, bieden. Tenslotte worden de meetresultaten gepresenteerd van een steekproef die is uitgevoerd in het buitengebied in samenwerking met Agentschap Telecom.

3.1 Mobiele netwerken

3.1.1 Technologie

Long-Term Evolution (LTE) is de 3GPP[14] technologiestandaard van de nieuwste generatie mobiele breedbandnetwerken die in Nederland worden uitgerold. Het is de opvolger van UMTS/HSPA (3G) technologie. Ten opzichte van zijn voorganger introduceert LTE een aantal nieuwe technieken dat significante verbeteringen biedt. Zo wordt gebruik gemaakt van een sterk vereenvoudigde, volledig IP gebaseerde, architectuur. Deze 'All-IP' netwerkarchitectuur ondersteunt hogere bandbreedtes en een lagere netwerkvertraging (latency). Andere belangrijke verbeteringen worden hieronder toegelicht.

Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

Door gebruik te maken van meerdere zend- en ontvangstantennes kunnen verschillende datapaden tegelijkertijd worden opgezet tussen een zendmast en een ontvanger. Wanneer er sprake is van twee zendantennes en twee ontvangstantennes spreekt men van 2x2 MIMO, waarmee de capaciteit van de beschikbare frequentieruimte kan worden verdubbeld. De netwerken in Nederland ondersteunen MIMO, maar dit geldt niet voor alle (huidige) mobiele gebruikersapparatuur.

Combinatie van frequentiebanden: Carrier Aggregation

Met carrier aggregation wordt het mogelijk frequentieblokken uit verschillende frequentiebanden te combineren (bijv. 800MHz en 1800MHz) om een hogere capaciteit te kunnen realiseren. In Nederland worden door een aantal operators de eerste experimenten uitgevoerd met carrier aggregation.

Verbeterde modulatietechniek

Bij LTE wordt een verbeterde modulatietechniek (OFDMA) gebruikt die frequentieruimte efficiënter gebruikt, robuuster is (tegen interferentie) en meer flexibiliteit biedt in het toewijzen van carriers (onder verschillende codering/condities). In de uplink wordt een

---

[14] De Third Generation Partnership Project (3GPP) is een wereldwijd samenwerkingsverband van telecommunicatieorganisaties welke verantwoordelijk is voor de specificatie en standaardisatie van deze mobiele telecommunicatie technologieën

energie-efficiëntere modulatietechniek (SC-FDMA) gebruikt, wat de accu-duur van toestellen ten goede komt.

3.1.2 Datasnelheden en relevante parameters

De maximale datasnelheden die kunnen worden gehaald zijn voornamelijk afhankelijk van de beschikbare frequentieruimte die wordt ingezet. Daarnaast is van belang welke technische mogelijkheden er zijn om deze frequentieruimte zo efficiënt mogelijk te benutten zoals de (maximaal) beschikbare MIMO functionaliteit en de (maximaal) beschikbare modulatievorm (16QAM en 64QAM)[15]. Tabel 3.1 toont de (theoretisch) maximale datasnelheden voor een aantal combinaties van de hiervoor genoemde relevante factoren.

De MIMO en modulatie dienen zowel door het netwerk als door de gebruikersapparatuur ondersteund te worden. Het merendeel van de toestellen die momenteel in omloop zijn ondersteunt geen 4x4 MIMO en geen 64QAM modulatie in de uplink.

In de praktijk houdt dit in dat voor dekking in de 800 MHz band, waar 10 MHz frequentieruimte wordt ingezet, op dit moment de maximale downloadcapaciteit 73 Mbps is en de maximale uploadcapaciteit 23 Mbps. Zie Annex E voor een berekening van de (theoretisch) maximale capaciteit.

Tabel 3.1: Overzicht theoretisch maximale datasnelheden op LTE

Frequentieruimte	Downlink			Uplink	
	1x1 MIMO	2x2 MIMO	4x4 MIMO	1x2 MIMO 16QAM	1x2 MIMO 64QAM
5 MHz	18 Mbps	37 Mbps	73 Mbps	11 Mbps	18 Mbps
10 Mhz	37 Mbps	73 Mbps	147 Mbps	23 Mbps	37 Mbps
20 MHz	75 Mbps	151 Mbps	302 Mbps	51 Mbps	75 Mbps

De datasnelheid die daadwerkelijk door een gebruiker wordt ervaren is sterk afhankelijk van signaalkwaliteit en concurrerend verkeer van andere gebruikers, waarbij signaalkwaliteit op zichzelf afhankelijk is van een aantal factoren, zoals:

- Zendafstand en overige demping (o.a. obstakels, weersomstandigheden)
- Zendvermogen en antennehoogte
- Storing, interferentie en reflectie-effecten
- De karakteristiek van de zender- en ontvangstantenne
- De uitrichting van de zender- en ontvangstantenne op elkaar

Een meer efficiënte modulatievorm vereist een hogere signaalkwaliteit. Naarmate een gebruikstoestel een betere signaalkwaliteit ervaart (bijv. dichter bij de zendmast komt) is er een efficiëntere modulatie-vorm mogelijk en zullen datasnelheden steeds meer naderen tot de theoretische datasnelheden.

[15] Bij 16QAM worden 4 bits per symbool getransporteerd, bij 64QAM 6 bits per symbool.

Gedeelde capaciteit (overboeking)

Wanneer meerdere gebruikers gelijktijdig actief zijn op een zendmast wordt de capaciteit van die mast verdeeld over de gebruikers. In het geval van mobiele netwerken geldt deze 'overboeking' op een relatief beperkte capaciteit van een enkele sector, waardoor het reeds bij een klein aantal simultane gebruikers mogelijk is dat deze elkaars prestaties op het netwerk beïnvloeden[16]. Bovendien geldt dat gebruikers met een slechte signaalkwaliteit minder efficiënt omgaan met de beschikbare capaciteit, wat ertoe kan leiden dat de totaal beschikbare capaciteit op een mast sterk terugloopt. In Annex E wordt dit nader toegelicht.

Inzet van frequentiebanden: Hoge vs. lage frequenties.

Er wordt in de praktijk onderscheid gemaakt tussen 'hogere' en 'lagere' frequenties, waarbij de lagere frequentiebanden (800 MHz en 900 MHz) – in verband met het grotere bereik – worden ingezet voor het realiseren van dekking over grotere gebieden. De hogere frequentiebanden (1800 MHz, 2100 MHz en 2600 MHz) – met kleiner bereik – worden ingezet voor het aanbieden van extra capaciteit in kleinere cellen.

Doordat het bereik in de 2600 MHz band minder is dan in de 800 MHz band zijn er bij uitrol in die band meer opstelpunten nodig om een vergelijkbare dekking te bieden als in de 800 MHz band.

3.1.3 Toekomstige ontwikkelingen

De technologiestandaard wordt verder ontwikkeld. Zo wordt gewerkt aan een uitbreiding op de standaard waarmee carrier aggregation in de praktijk toegepast kan worden en 8x8 MIMO zal worden geïntroduceerd waardoor de capaciteit van de netwerken verder wordt vergroot.

De mobiele operators in Nederland zijn bezig met het uitrollen en testen van deze 'LTE-Advanced' upgrade, maar geven aan zich in eerste instantie te richten op de dichtstbevolkte gebieden. Aangezien dekking in het buitengebied met name is gerealiseerd in de lagere banden zijn de praktische mogelijkheden voor carrier aggregation beperkt en er zijn op dit moment geen aanwijzingen dat hier snel verandering in zal komen, en het is dan ook de vraag of deze ontwikkelingen op korte termijn relevant zijn voor het buitengebied.

Het zal nog enkele jaren duren voordat MIMO functionaliteit tot verbeteringen zal leiden in de praktijk, de meeste gebruikersapparatuur ondersteunt op dit moment nog geen 4x4 MIMO, en het is niet de verwachting dat 8x8 MIMO snel (standaard) beschikbaar is.

LTE-broadcast

Door middel van LTE-Broadcast, kan (video)content gelijktijdig worden aangeboden aan alle gebruikersapparaten in een cel, waardoor minder capaciteit nodig is. Deze vorm van broadcast is nog experimenteel.

[16] Bij vaste netwerken wordt ook een 'overboeking' gehanteerd, maar daarbij gaat het in de regel om een grotere (centrale) capaciteit die wordt gedeeld over een groter aantal gelijktijdige gebruikers dan het geval is bij mobiele netwerken.

3.2 Randapparatuur voor gebruik mobiel netwerk op vaste locatie

LTE wordt in situaties waar het vaste net niet toereikend is soms ook ingezet als alternatief voor een vaste internetverbinding. In Nederland is Greenet (dat eigen opstelpunten met backbone realiseert op basis van vraagbundeling) hier een voorbeeld van, en ook in Zweden, Finland, Australië, het Verenigd Koninkrijk en Duitsland gebeurt dit. Deze netwerken maken gebruik van specifieke randapparatuur om de verbinding met het netwerk te versterken en zo hogere snelheden te halen. Daarbij wordt er vaak gebruikt gemaakt van een LTE-ontvanger (en router) binnenshuis in combinatie met een antenne die buitenshuis wordt geplaats om de ontvangst van het signaal te verbeteren.

3.2.1 LTE-Routers

LTE-routers hebben een vergelijkbare functionaliteit als de door vaste ISPs verstrekte VDSL-modems, kabelmodems of glasvezelmodems. De internetverbinding die via LTE wordt verkregen kan middels een dergelijke router worden gedeeld via Wi-Fi of een intern bedraad (ethernet) netwerk. Figuur 3.1 toont de AVM Fritz!Box en de Huawei-router (beide verkrijgbaar op de Nederlandse markt voor ongeveer €275-€300) die ook in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk worden geleverd door operators.



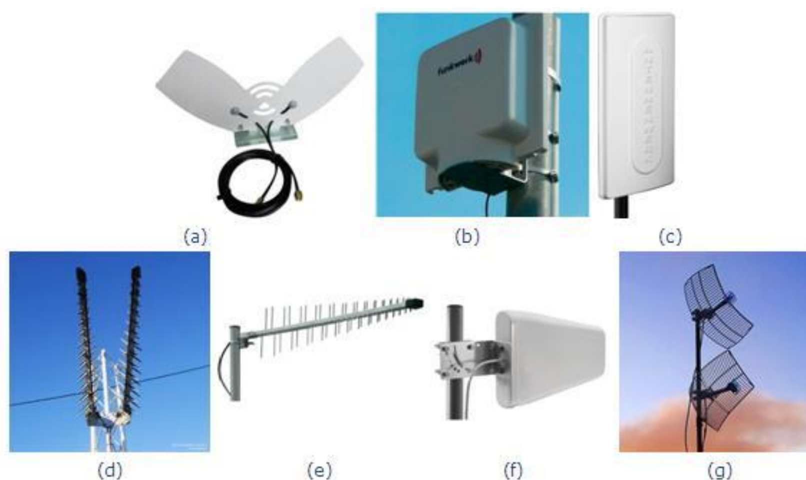
Figuur 3.1: LTE-Routers: AVM-Fritz!box (links), Huawei B593 (Vodafoneversie, rechter twee)

3.2.2 Externe richtantennes

Om de ontvangen signaalkwaliteit te verbeteren kan gebruik gemaakt worden van een (externe) richtantenne, hetgeen als voordeel heeft dat het signaal wordt 'versterkt'. Een externe richtantenne zorgt ervoor dat elektromagnetische energie wordt gebundeld en dat (stoor)signalen uit andere richtingen dan de gewenste richting worden verzwakt. Hiermee neemt het ontvangen signaalniveau ten opzichte van de standaard ingebouwde antennes toe met 10 tot 15 dB, waardoor een hogere modulatievorm kan worden toegepast. Deze externe antennes worden buiten op enkele meters hoogte geplaatst om een hogere signaalsterkte te ervaren dan ontvangers op grondniveau binnenshuis.

In het aanbod van externe richtantennes is de variatie groot (zie figuur 3.2 voor een aantal voorbeelden), mede doordat antennes kunnen worden geoptimaliseerd voor een specifieke band of juist voor alle banden (multiband), en de kosten voor deze antennes variëren sterk. Een richtantenne met relatief lage antenneversterking (enkele decibel) is verkrijgbaar voor

ongeveer €70 (modellen a, b en c). Multiband antennes[17] (modellen d, e en f) kosten ongeveer €100 - €150 en leveren een versterking van ca. 10-12 dBi. Paraboolantennes (model g) geven een nog grotere versterking (17 dBi) en kosten circa €150, maar deze zijn wel band-specifiek. Bij een aantal modellen zijn twee antennes nodig om MIMO mogelijk te maken. Inclusief montage komen de kosten van een richtantenne uit op ca. €200 à €500[18].



Figuur 3.2: Externe antennes: (a) Wittenberg binnenmodel, (b) Funkwerk 800 MHz MIMO, (c) Antennenwerk 800 MHz MIMO, (d) Multiband 4G Yagi Telcoanntennas, (e) Wittenberg Universal, (f) Yagi Ultra High Gain, (g) Telcoantennas 4G Grid Parabolic 1800

3.3 Steekproef buitengebied

Ten behoeve van dit onderzoek heeft het Agentschap Telecom, in samenwerking met Stratix, een steekproef uitgevoerd, waarbij de prestaties van LTE zijn gemeten op een beperkt aantal (afgelegen) locaties waar geen snel vast internet beschikbaar is. De steekproefmetingen beogen nadrukkelijk geen consumentenonderzoek te zijn. Het doel was om een indicatie te krijgen van de werkelijk gerealiseerde bandbreedtes in afgelegen gebieden.

Deze paragraaf behandelt de belangrijkste meetresultaten van de steekproef. Aanvullende resultaten en informatie over de meetopstelling en -methode zijn beschikbaar in Annex F.

3.3.1 Meetopstelling en meetlocaties

De steekproef is uitgevoerd met algemeen beschikbare consumentenapparatuur: een tweetal dongles en een router van Huawei[19]. Op een beperkt aantal locaties zijn er ook metingen gedaan met behulp van een externe richtantenne om te beoordelen of hiermee de gemeten

---

[17] Geschikt voor meerdere frequentiebanden

[18] Bij alle richtantennes zijn twee kabels of een zogenaamde twinkabel vereist. De kosten van deze kabels variëren van €25 - €50 voor 10 meter afhankelijk van het dempingsniveau.

[19] De gebruikte dongle was type Huawei E398u-15 USB Modem, de gebruikte router was van het type Huawei 100M Wireless Gateway B890-75

snelheden konden worden verhoogd. Tijdens de metingen zijn de downloadsnelheid, uploadsnelheid en latency (netwerkvertraging) gemeten.

Op basis van de bevindingen uit hoofdstuk 2 is een aantal meetlocaties geselecteerd die beschikken over gebrekkig vast internet en binnen LTE-dekking vallen. De geselecteerde locaties staan weergegeven in figuur 3.3. Op deze meetlocaties zijn voornamelijk metingen uitgevoerd op relatief grote afstand van de mast (typisch 2 tot 4 km van de mast). Ook zijn er een aantal referentiemetingen uitgevoerd op zeer korte afstand van de mast.



Figuur 3.3: Meetlocaties steekproef

3.3.2 Meetresultaten steekproef

De steekproefresultaten geven inzicht in de snelheden die in de praktijk gehaald kunnen worden in het buitengebied. De omvang van de steekproef is te beperkt om (statistisch verantwoord) algemene conclusies te trekken op dit gebied. De resultaten dienen dan ook ter ondersteuning en illustratie van het onderzoek.

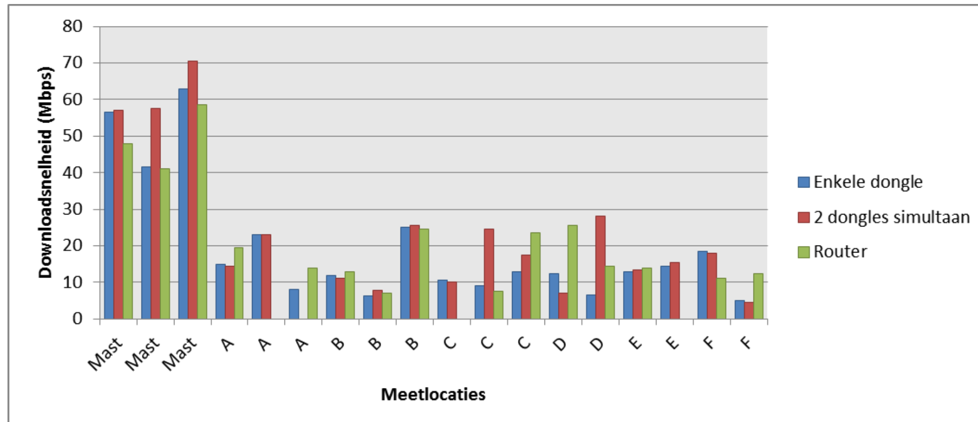
Downloadsnelheden

Bij locaties in de directe nabijheid van een mast werden downloadsnelheden gemeten van rond de 50Mbps, wat in de buurt komt van de theoretische downlink capaciteit (73 Mbps bij 10 MHz bandbreedte). De gemeten signaalsterkten vlakbij de mast lagen in de orde van -52 dBm (RSRP) bij 800 MHz en -75 dBm (RSRP) bij 1800 MHz.

Verder weg van de masten werden lagere snelheden gemeten en vertoonden de snelheden een grilliger gedrag. Op locaties waar een signaalsterkte (RSRP) van ca. -90 dBm (800 MHz) en -100 dBm (1800 MHz) werd gemeten, varieerden downloadsnelheden tussen 10 Mbps en 20 Mbps gemeten met een enkele dongle.

Wanneer er met twee dongles tegelijkertijd werd gemeten bleken de individuele downloadsnelheden van de dongles ongeveer gelijk te zijn en was de som van de downloadsnelheden nagenoeg gelijk aan de snelheid met een enkele dongle. Dit suggereert dat bij de metingen met een enkele dongle de volledige beschikbare capaciteit van de sector werd opgeëist en dat deze capaciteit bij gelijktijdige downloads evenredig werd verdeeld over de gebruikers.

De belangrijkste resultaten van de downloadmetingen zijn weergegeven in figuur 3.4. In Annex F zijn meer meetresultaten beschikbaar. De figuur toont per meetlocatie de resultaten van operators die dekking bieden op de betreffende locatie. Dit betekent dat wanneer op een meetlocatie drie operators dekking bieden, deze locatie driemaal voorkomt in de resultaten.



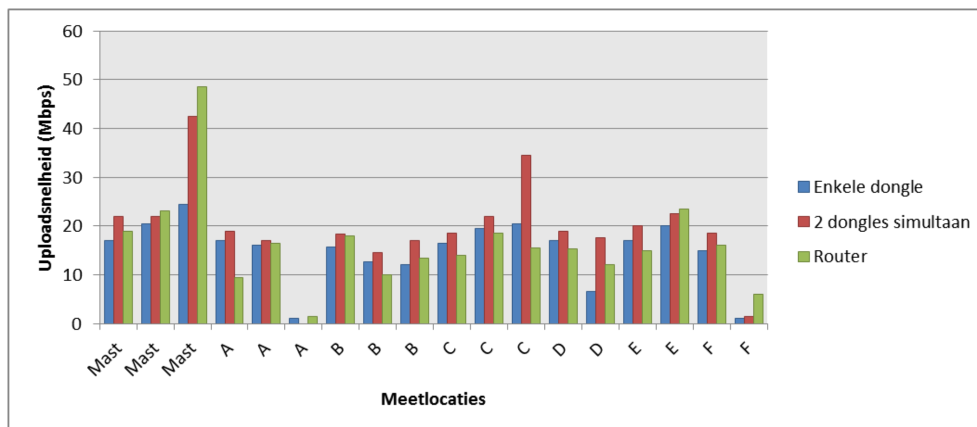
Figuur 3.4: Resultaten downloadmetingen steekproef

Uploadsnelheden

Zowel in de nabijheid van een mast als op de 'afgelegen' meetlocaties bleek dat de uploadsnelheden erg dicht naderden tot de theoretische (piek)snelheden.

Evenals bij de downloadmetingen was de uploadsnelheid van twee gelijktijdig opererende dongles ongeveer gelijk aan de snelheid van een enkele dongle, en werd de capaciteit gelijk verdeeld tussen de dongles.

In de onderstaande figuur worden de meetresultaten samengevat. In de figuur zijn uploadsnelheden van alle locaties zichtbaar. Hierbij zijn drie metingen dicht bij de masten gedaan ('mast'), de rest van de metingen zijn op locaties verder van de mast. Meer resultaten zijn beschikbaar in Annex F.



Figuur 3.5: Resultaten uploadmetingen steekproef

Latency (netwerkvertraging)

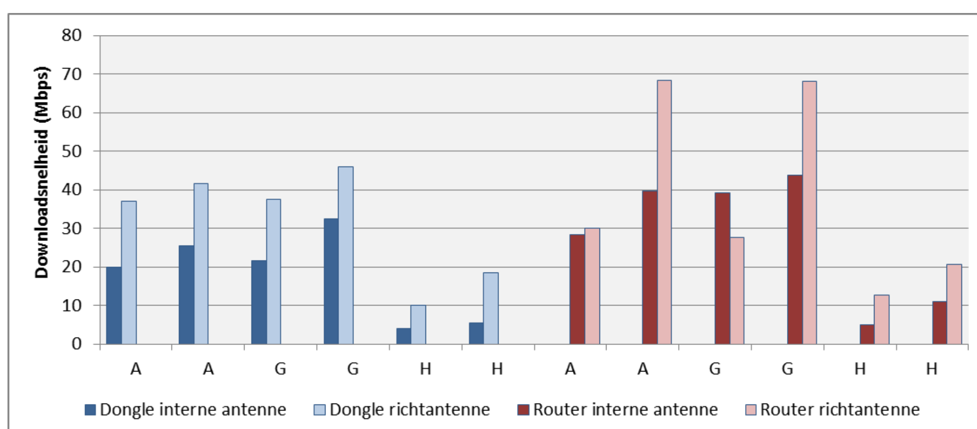
De gemeten latency bleek, evenals de uploadsnelheden, stabiel te zijn ongeacht de afstand tot de mast. Dit is te verklaren doordat latency geen (sterke) afhankelijkheid heeft van de signaalsterkte en/of signaalkwaliteit. De gemiddelde ping-tijden lagen redelijk stabiel tussen de 30 en 50 ms. Een figuur van de meetresultaten op latency is beschikbaar in Annex F.

Effecten van gebruik richtantenne

De signaalwinst die werd behaald met de richtantenne bleek in de praktijk circa 10dB te zijn[20]. Dit had voornamelijk effect op de gemeten downloadsnelheden.

Downloadsnelheden richtantenne

De gemeten downloadsnelheden op de gekozen locaties waren met de richtantenne in nagenoeg alle gevallen aanzienlijk hoger dan de metingen zonder. In de onderstaande figuur zijn de meetresultaten weergegeven.



Figuur 3.6: Downloadsnelheden externe richtantenne versus interne antennes

---

[20] Dit is vastgesteld op basis van het verschil in signaalsterkte (RSRP) voor de dongle met en zonder de richtantenne (zie Annex F)

Het effect van de richtantenne op de downloadsnelheden is duidelijk zichtbaar. Op een tweetal locaties bleek met de router tijdens twee metingen op twee verschillende locaties (locatie A2 en G in bovenstaand figuur) het theoretische maximum (70 Mbps) nagenoeg haalbaar.

In bijna alle gevallen leverde de richtantenne, ook al stond deze slechts ca. 1.60m boven de grond, snelheidswinst op. Wanneer grotere afstanden tot de -mast overbrugd moeten worden kan extra antennehoogte resulteren in hogere signaalsterkten en daarmee hogere datasnelheden.

Uploadsnelheden richtantenne

In tegenstelling tot de downloadsnelheden, werden er nauwelijks verschillen gemeten in de uploadsnelheid met of zonder richtantenne. Evenals bij de eerdere uploadmetingen zonder externe antenne werden er bij deze meetsessie ook uploadsnelheden gemeten die de theoretisch (maximale) uplink capaciteit van ca. 23 Mbps benaderden. Een overzicht van de meetresultaten op uploadsnelheid is beschikbaar in Annex F.

Latency richtantenne

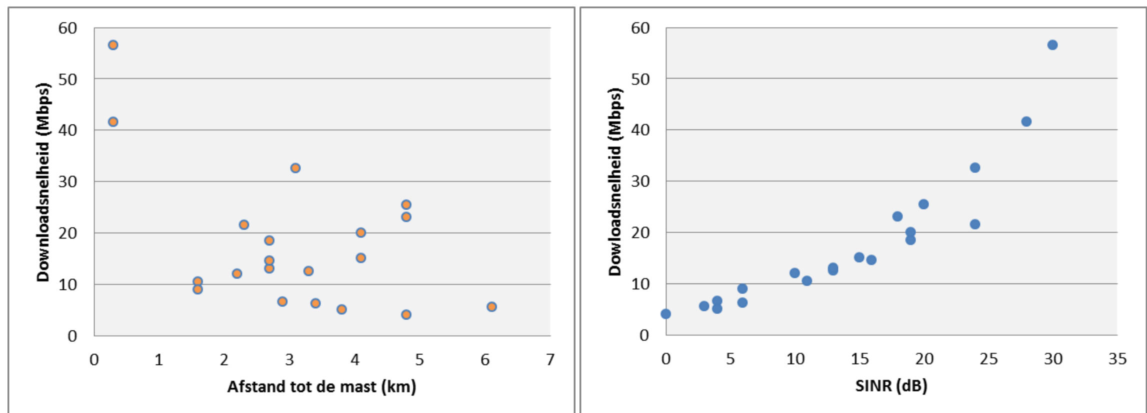
In alle gevallen lag de gemiddelde latency tussen de 30 en 50 ms, en was er niet of nauwelijks verschil met of zonder de richtantenne. Dit is wederom te verklaren doordat latency geen (sterke) afhankelijkheid heeft van de signaalkwaliteit.

Relevante observaties

Er is in de meetresultaten geen hele duidelijke relatie gevonden tussen de afstand tot de mast en de gemeten downloadsnelheid (zie figuur 3.7). Er is wel een dalende trend zichtbaar, maar deze heeft veel spreiding. Dit suggereert dat de afstand tot de mast, hoewel relevant, niet bepalend was voor de ervaren downloadsnelheid bij de metingen. Een mogelijke verklaring is dat interferentie op de locaties waar gemeten is (aan de rand van een sector) een rol speelt, of dat er tussen de locaties een aanzienlijk verschil was in de ervaren demping en storing op het signaal (bijv. door obstakels zoals bomen of gebouwen). Dit wordt ondersteund doordat er een hele duidelijke relatie was tussen de gemeten downloadsnelheid en de signaal-ruisverhouding (SINR).

Tijdens de metingen bleek dat, hoewel de dongles voor MIMO gespecificeerd zijn, er op grote afstand van de mast geen MIMO waarneembaar was. Mogelijk heeft dit te maken met het feit dat de interne antennes in consumentenapparatuur, zoals de gebruikte dongle, te dicht bij elkaar zitten om op grootte afstand van de mast onderscheid te maken tussen twee zendantennes ('polarisaties')[21].

[21] Optimale prestaties bij MIMO vereisen eigenlijk een afstand van een halve golflengte tussen de twee ontvangstantennes. In geval van 800 MHz is deze ca. 19cm.



Figuur 3.7: Spreiding van zendafstand en DL snelheid, en SINR en DL snelheid[22]

3.4 Conclusies theorie en werkelijkheid

In theorie en onder ideale omstandigheden kunnen er met LTE hoge bandbreedtes worden geboden. De datasnelheid die daadwerkelijke door een gebruiker wordt ervaren is echter afhankelijk van een groot aantal factoren. Praktijkmetingen met consumentenapparatuur (zonder externe richtantenne) leverden op aanzienlijke afstand van de mast downloadsnelheden die aanmerkelijk lager lagen dan de theoretische snelheden. Dicht bij de mast werden wel snelheden gemeten die naderden aan de theoretische waarden.

Om LTE in te kunnen zetten op een vergelijkbare wijze zoals een vaste internetverbinding wordt ingezet kan er gebruik worden gemaakt van speciale LTE-routers in combinatie met externe (richt)antennes. Bij de steekproef is gebleken dat de downloadsnelheden aanzienlijk verhoogd kunnen worden door gebruik te maken van een richtantenne.

Daarnaast is het ook duidelijk geworden dat afstand en downloadsnelheid niet één op één tot elkaar te relateren zijn. De downloadsnelheden zijn afhankelijk van meer factoren dan alleen de afstand tot de mast en de daarbij behorende signaalsterkte. Mogelijk spelen prestaties op gebied van MIMO en effecten van ruis en interferentie hier een belangrijke rol.

[22] Enkel op basis van meetresultaten in de 800 MHz band en zonder externe richtantenne

4 Internettoepassingen op LTE

Er is een grote verscheidenheid aan toepassingen waar mensen via internet gebruik van maken, waarbij de gebruikskarakteristieken per toepassing sterk verschillen. In hoeverre de huidige LTE-netwerken een meerwaarde kunnen bieden voor bewoners van het buitengebied met 'langzaam' vast internet hangt af van de toepassingen die worden gebruikt, en of deze kunnen worden ondersteund. Hiertoe zijn per toepassing de minimale parameters om deze (goed) te laten functioneren van belang. Er wordt onder meer onderscheid gemaakt tussen basistoepassingen en geavanceerde toepassingen.

In dit hoofdstuk wordt voor een aantal relevante toepassingen beschreven welke parameters van belang zijn en in hoeverre LTE deze kan ondersteunen.

4.1 Basistoepassingen

Met basistoepassingen worden relatief eenvoudige toepassingen bedoeld die door veel gebruikers al lange tijd worden gebruikt en als 'standaard' internet toepassingen worden ervaren. Deze toepassingen stellen over het algemeen lage eisen aan de internetverbinding.

4.1.1 Email

E-mail is een zeer veel gebruikte applicatie. E-mail is een relatief lichte applicatie, en werkt al bij trage verbindingen (bijvoorbeeld van rond de 0,5 Mbps up en down[23]). Bovendien is e-mail weinig gevoelig voor latency en jitter[24]. Met e-mail wordt het netwerk niet continu belast, maar alleen wanneer er een e-mail daadwerkelijk verzonden of ontvangen wordt. Gebruik van capaciteit is bij e-mail afhankelijk van hoe groot het bericht is; over het algemeen gaat het maar over enkele tientallen kilobytes per bericht, maar er zitten uitschieters tot vele megabytes bij (bijvoorbeeld om foto's te versturen).

4.1.2 Webbrowsing

Webbrowsing is een populaire activiteit op het internet, er wordt gemiddeld 30 minuten per persoon per dag aan deze activiteit gespendeerd[25]. Voor webbrowsing is de downloadsnelheid van het netwerk belangrijk voor de ervaring van de eindgebruiker. Uit onderzoek is gebleken dat door een gemiddelde gebruiker een langere laadtijd dan 2 seconden[26], als onprettig wordt ervaren.

Uit diverse onderzoeken blijkt dat een minimale downloadsnelheid van 0,5 Mbps[27], maar liever minimaal 5 Mbps nodig is om voldoende 'prettig' te kunnen webbrowsen. Uploadsnelheid is minder van belang bij webbrowsing. Bovendien behoeft webbrowsing geen continue verbinding met het netwerk. Men opent een webpagina, gaat het lezen en vervolgens gaat men verder. Tijdens het lezen is er geen verbinding nodig met het internet.

---

[23] Bron: http://www.fcc.gov/guides/broadband-speed-guide
[24] Bron: http://nepeannetworks.com/qos-quality-of-service/
[25] Bron: NLO/NOM/SCP/SKO, Media:Tijd (2014)
[26] Bron: http://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/qos/201404/Documents/ITU_Maputo_Session_9.pdf
[27] Bron: http://www.fcc.gov/guides/broadband-speed-guide

De gevoeligheid voor latency en jitter is relatief laag.

De gemiddelde grootte van een webpagina groeit. Het is gegroeid van minder dan 100 kilobyte (kB) per pagina in het jaar 2000 naar gemiddeld 1600 kB in 2014[28]. De top 10 meest bezochte websites in Nederland[29] zijn echtere kleinere websites van onder de 1 megabyte (MB) per pagina.

4.1.3 VoIP

Met VoIP als applicatie wordt bedoeld: het bellen via een internetverbinding gebruikmakend van een VoIP-client zoals Skype of via het web zoals bij Google Hangouts. Het gaat dus niet over de 'VoIP-telefonie' diensten die niet over het internet gaan zoals internet-plus-bellen die bijvoorbeeld via een drie-in-één pakket aangeboden worden als vaste telefonie.

Hoewel de gebruiker minder hoge eisen aan VoIP stelt dan aan "ouderwets" bellen, is voor VoIP vooral latency een issue, en het wordt snel merkbaar tijdens een telefoongesprek wanneer er vertraging voorkomt. VoIP vereist voor een prettige gebruikerservaring een latency van maximaal 45-65 ms[30].

De benodigde bandbreedte is relatief laag. De grens van acceptatie van een VoIP dienst[31] bij een down/upload snelheid tussen de 27 kbps en 42 kbps. Bij Google Hangouts gaat men uit van 35 kbps[32] gebruik (down en up) voor audio bellen. Bij Skype wordt 30 tot 100 kbps aanbevolen voor een audiogesprek[33].

4.1.4 Videotelefonie

Met videotelefonie wordt bedoeld: een telefoniedienst waarmee men via het internet kan bellen en elkaar ook kan zien. Voor videotelefonie zijn naast downloadsnelheid ook uploadsnelheid en latency van belang. Beide kanten verzenden en ontvangen videobeelden, en dat vergt dus ook een bepaalde minimale uploadsnelheid en een maximale latency om te voorkomen dat geluid en beeld onnatuurlijk lang op zich laten wachten (typisch zal een latency van >60 ms tot een mindere kwaliteitsperceptie leiden).

Voorbeelden van vaak gebruikte applicaties voor videotelefonie zijn Google Hangouts en Skype. **Google Hangouts** past zich qua video bellen aan het apparaat en internetverbinding van de gebruiker, en bij **Skype video** kan uit verschillende beeldkwaliteit gekozen worden.

Beide diensten geven aan dat ze al werken vanaf ongeveer 0,5 Mbps up en download snelheden (bij lage resolutie), en dat voor HD video bellen er, naast goede apparatuur en camera, een minimale up- en downloadsnelheid van 1,5 Mbps wordt aanbevolen[34].

---

28 Bron: http://www.websiteoptimization.com/speed/tweak/average-web-page/
29 Bron: http://www.foogli.nl/internet-de-top-10-meest-bezochte-websites-in-nederland
30 Bron: http://www.voip-info.org/wiki/view/QoS
31 Bron: http://www.iis.sinica.edu.tw/~swc/pub/quality_of_service_requirements.html
32 Bron: https://support.google.com/plus/answer/2979333?hl=en
33 Bron: https://support.skype.com/en/faq/fa1417/how-much-bandwidth-does-skype-need
34 Bron: https://support.google.com/plus/answer/2979333 en https://support.skype.com/en/faq/FA1417/how-much-bandwidth-does-skype-need

4.1.5 Audio streaming

Dit is een steeds vaker gebruikte toepassing, met name voor het beluisteren van muziek. Veel gebruikte applicaties zijn webradio's en Spotify. **Spotify** vereist bijvoorbeeld 96 tot 320 kbps[35], en veel aangeboden radio streams zijn in de orde van 64 tot 128 kbps.

Sinds kort zijn er ook diensten op de markt die een hogere kwaliteit geluid aanbieden, en daarvoor ook een grotere bandbreedte nodig hebben. De muziekdienst Tidal heeft bijvoorbeeld ongeveer 1,5 Mbps downloadsnelheid nodig.

Aan de uploadsnelheid en de latency stelt dit soort toepassing weinig eisen.

4.1.6 Video streaming - web

Met deze toepassing worden YouTube, Uitzending Gemist, en andere toepassingen bedoeld waarbij korte films of clips bekeken worden op het web. Toegang tot video streaming kan bijvoorbeeld via een laptop of tablet verkregen worden, maar er zijn ook steeds meer televisietoestellen (smart TV's) op de markt die deze diensten rechtstreeks ondersteunen.

De kwaliteit van een filmpje op **Youtube** wordt afgestemd op de snelheid van de internetverbinding. Bij een traag netwerk zal het filmpje langer bufferen. Youtube vereist een downloadsnelheid tussen de 0,7 en de 4 Mbps[36]. Het is niet gevoelig voor latency vanwege de bufferingfunctie, en het vergt vrijwel geen uploadsnelheid, tenzij een gebruiker zelf Youtube filmpjes op het web wil zetten.

Ook **NetFlix** biedt de mogelijkheid om zich aan te passen aan de beschikbare bandbreedte door op 0,5 Mbps en lagere resolutie te kijken voor bijvoorbeeld laptop of tablets.

Uitzending Gemist is een andere veel gebruikte applicatie. Volgens TNO onderzoek uit 2013[37] kijkt men in Nederland gemiddeld 12 tot 30 minuten per keer naar Uitzending Gemist. Uitzending Gemist vraagt ook een downloadsnelheid van 0,5 tot 5 Mbps[38] van het netwerk.

4.1.7 Samenvattend overzicht basistoepassingen

De volgende tabel geeft een indicatie van de benodigde bandbreedtes en netwerkparameters. Werkelijke bandbreedtes zullen variëren en hangen sterk af van zaken als mate van gebruik en specifieke instellingen.

---

[35] Bron: https://support.spotify.com/us/learn-more/faq/#!/article/What-bitrate-does-Spotify-use-for-streaming

[36] Bron: http://www.fcc.gov/guides/broadband-speed-guide

[37] Bron: Mogelijkheden voor draadloze breedbandontsluiting van buitengebieden in Nederland, TNO, 2013

[38] Bron: http://nepeannetworks.com/qos-quality-of-service/

	Minimale benodigde Downloadsnelheid	Minimale benodigde Uploadsnelheid	Latency en Jitter	Datavolume
E-mail	0,5 Mbps	0,5 Mbps	Ongevoelig	Afhankelijk van grootte bericht en aantal e-mails
Webbrowsing	0,5 - 5 Mbps	0,5 Mbps	Ongevoelig	Toepassing is niet gevoelig voor datavolumes
VoIP	0,1 Mbps	0,1 Mbps	< 65 ms	Toepassing is niet gevoelig voor datavolumes
Videotelefonie	0,5-1,5 Mbps	0,5-1,5 Mbps	< 65 ms	Afhankelijk van lengte gesprek en beeldkwaliteit
Audio streaming	0,1 Mbps	Toepassing is niet gevoelig voor uploadsnelheden	Ongevoelig	Toepassing is niet gevoelig voor datavolumes
Basis Videostreaming	0,5-5 Mbps	Toepassing is niet gevoelig voor uploadsnelheden	Ongevoelig	Afhankelijk van beeldkwaliteit en lengte van film

4.2 Geavanceerde toepassingen

Met geavanceerde toepassingen worden moderne toepassingen bedoeld die recentelijk sterk in populariteit zijn toegenomen. Over het algemeen stellen deze toepassingen relatief hoge eisen aan de internetverbinding.

4.2.1 TV kijken en on-demand TV streaming (Netflix en IPTV)

Lineaire TV (zoals IPTV)[39] of interactieve TV diensten, zoals deze worden aangeboden op de vaste netten, zijn niet beschikbaar als 'over the top' internet dienst. Dat betekent dat er over LTE geen diensten beschikbaar zijn die een volwaardig alternatief bieden voor het huidige TV aanbod. In het buitengebied waar geen kabel is wordt veelal gebruik gemaakt van satelliet TV of Digitenne.

Wel zijn er diverse internet diensten die 'on demand' video streaming aanbieden (vergelijkbaar met sommige 'on demand' diensten van de reguliere interactieve tv aanbieders). Een zeer populaire dienst is Netflix, en daarnaast zijn er in Nederland onder meer Videoland.com, Pathé Thuis, en Sony Video Unlimited. Verder zijn er voor een beperkt aantal Lineaire TV zenders (live) internet-streams beschikbaar, bijvoorbeeld via LiveNPO van de publieke omroep.

[39] IPTV maakt gebruik van het Internet Protocol, maar wordt in de regel in Nederland niet als "internet dienst" aangeboden "over het internet".

Deze 'Video on Demand' diensten vergen bandbreedtes van ordegrootte 3 Mbps of meer voor 'standard definition' (SD) kwaliteit en aanzienlijk meer voor HD-kwaliteit. Bij een aantal van deze diensten wordt automatisch naar een lagere beeldkwaliteit teruggeschakeld indien nodig.

Netflix (met in Nederland een miljoen gebruikers in augustus 2014[40] ongeveer een jaar na introductie) biedt streams die een verbinding nodig hebben van 3 Mbps (voor SD) tot 15 Mbps (voor Ultra HD of 4K). Daarnaast noemt Netflix een absoluut minimum van continu 0,5 Mbps, en wordt minimaal 1,5 Mbps aanbevolen (maar dan is de kwaliteit lager dan de standaard SD kwaliteit).

Datavolumes kunnen (voor mobiele begrippen) erg hoog zijn bij streaming video, het gaat om 0,3 GB per uur tot 7 GB per uur bij de hoogste kwaliteit[41].

4.2.2 Online gaming

Online spellen zijn er in veel smaken, en veel van de 'casual' spellen zoals Wordfeud zullen geen zware belasting vormen op een netwerk.

Dit ligt anders bij de meer uitgebreide 'online' spellen (bijvoorbeeld 'Massive Multiplayer online games' zoals World of Warcraft). Bij dergelijke online games wordt de game van te voren gedownload en geïnstalleerd op de desktop of gameconsole. Tijdens het spelen worden locatie, veranderingen en commando's van de speler heen en weer doorgegeven; grafische gegevens gaan tijdens het spelen niet over het internet, en verwerking van het grafische gedeelte gebeurt 'offline' op de computer zelf. Deze manier van online gaming vergt een downloadsnelheid van 1 tot 4 Mbps[42] en een veel lagere uploadsnelheid van typisch 0,5 Mbps. Latency vormt een belangrijkere parameter bij online gaming, omdat vertraging bij real-time games snel merkbaar is bij het functioneren en het kunnen spelen van de game. Latencies van maximaal 40 milliseconde zijn aan te bevelen, maar lager is altijd beter.

Naast het spelen van het spel zelf worden ook updates van spellen gedownload, van enkele tientallen tot honderden MB's. Als de gebruiker op de update niet lang wil wachten voordat hij met het spel kan beginnen, stelt dit ook eisen aan de downloadsnelheid.

Een nieuwe manier van online gaming wordt aangeboden door bijvoorbeeld OnLive[43] waarbij juist het spel zelf op een centrale computer draait en de grafische informatie wordt doorgegeven via internet. Deze dienst vergt een minimale downloadsnelheid[44] van typisch 6 Mbps.

4.2.3 Online Storage en back-updiensten

Online opslag omvat diverse diensten en mogelijkheden om bestanden online op te slaan en elders online weer beschikbaar te hebben (of stellen).

[40] Bron: http://www.cinema.nl/artikelen/11207970/netflix-bereikt-miljoen-gebuikers
[41] Bron: https://help.netflix.com/en/node/87
[42] Bron: http://www.fcc.gov/guides/broadband-speed-guide
[43] Bron: http://venturebeat.com/2014/11/11/onlive-expands-cloud-gaming-to-benelux-countries/
[44] Bron: http://www.vg247.com/2014/03/24/onlive-2-0-is-the-game-streaming-service-worth-your-money/

Dropbox is een veel gebruikte online opslag dienst. Dropbox biedt zowel web toegang als een aparte client, waarbij de client een lokale directory synchroniseert met de opslag op dropbox zodat wanneer het netwerk niet beschikbaar is, er offline wordt gewerkt en zodra de client weer online is zal worden gesynchroniseerd.

Google Drive / Google+ is een populaire opslag dienst met client applicaties voor onder andere Android toestellen en tablets. Deze applicatie maakt automatische backups van foto's en films zodra het toestel via Wi-Fi met internet verbonden is.

De uiteindelijke gebruikerservaring is zeer afhankelijk van het type dienst en van de gebruiker. Storage diensten vragen niet per se hoge downloadsnelheden, maar stellen eisen aan de uploadsnelheid en de datavolumes zijn afhankelijk van de hoeveelheid data en wijze van gebruik. Real-time openen en bewerken van (grote) opgeslagen bestanden vergt een snelle verbinding met lage latency, terwijl het maken van een (niet real-time) back-up langer mag duren en bijvoorbeeld 's nachts gedurende veel uren met een relatief lage bandbreedte kan plaatsvinden.

4.2.4 Werken op afstand

Bij 'werken op afstand' wordt veelal bedoeld dat men vanaf een eigen laptop of computer werkt alsof men aanwezig is op kantoor (uitgaande van een gemiddelde 'kantoormedewerker' met office applicaties, waarbij eventuele specialistische applicaties buiten beschouwing zijn gelaten).

Er worden voor werken op afstand uiteenlopende applicaties ingezet die verschillende eisen stellen aan het netwerk. In sommige gevallen is toegang tot het internet en e-mail voldoende, terwijl in andere gevallen op afstand ingelogd wordt op een werkstation (virtuele machine). In dit laatste geval is meer bandbreedte en een continue verbinding noodzakelijk.

Veelgebruikt is toegang tot een **fileserver via VPN**. De eisen aan het netwerk hangen (net als bij online storage) af van het type bestanden waarmee gewerkt wordt op de fileserver. De VPN vereist zelf in principe geen hoge minimale down-en uploadsnelheid (er wordt een minimum van 512 kbps[45] vereist voor de simpelste vorm van VPN). Zodra grotere bestanden online worden geopend zal echter beduidend meer bandbreedte nodig kunnen zijn. Afhankelijk van het type VPN en van de applicatie kan een lage latency (< 60 ms) nodig zijn voor een goede gebruikservaring.

Remote Desktop is één van de meest voorkomende manieren van werken op afstand. Hierbij wordt vanuit een computer thuis ingelogd op een werkcomputer (PC of server). Voor het gebruik van Citrix (een veelgebruikte vorm van remote desktop) wordt een netwerk downloadsnelheid van 2 tot 4 Mbps aanbevolen[46]. Voor upload is volgens hetzelfde onderzoek 100 kbps continu nodig.

Een remote desktop applicatie is voornamelijk gevoelig voor latency en jitter, een vertraging in het netwerk is vrij snel merkbaar. Remote desktop gebruikt al snel enkele GB's per maand

---

[45] Bron: http://www.richweb.com/node/100
[46] Bron: http://www.qcman.org/sites/default/files/qcman_2013_CASAS.pdf

bij fulltime gebruik[47] (mits geen video applicaties over Citrix worden bekeken, anders wordt het nog veel meer).

4.2.5 Samenvatting

Bij geavanceerde toepassingen zijn de minimale vereisten die nodig zijn voor een voldoende werking van iedere toepassing afhankelijk van veel factoren. De instellingen en de manier waarop een gebruiker deze toepassingen gebruikt zal uiteindelijk bepalend zijn voor de benodigde bandbreedte en de bijbehorende datavolumes. Ook is er binnen deze groep een verscheidenheid aan applicaties waarvoor verschillende parameters gelden voor een optimale gebruikservaring. De onderstaande tabel geeft een indicatie van de benodigde bandbreedtes en netwerkparameters voor de werking van de verschillende toepassingen.

	Minimale benodigde Downloadsnelheid	Minimale benodigde uploadsnelheid	Latency en Jitter	Datavolume
TV kijken en on-demand TV streaming (Netflix en IPTV)	3* -25 Mbps	Ongevoelig	Ongevoelig (buffering)	0,3-7 GB per uur
Online gaming	1-6 Mbps	0,5 Mbps	< 40 ms	Tientallen tot honderden MB's per update
Online storage en back-up diensten	Passen zich aan de bandbreedte	Net zo belangrijk als download	Ongevoelig	Afhankelijk van de hoeveelheid opgeslagen data
Werken op afstand	0,5-4 Mbps	0,1 Mbps	< 60 ms	Honderden MB's tot enkele GB's per maand

*Het absolute aanbevolen minimum is 1,5 Mbps, maar dan is de beeldkwaliteit minder dan SD (huidige standaard TV kwaliteit)

4.3 Overige (maatschappelijk) relevante toepassingen

In deze paragraaf worden een aantal specialistische toepassingen behandeld die van (maatschappelijk) belang zijn in het buitengebied.

4.3.1 Zorg op afstand

Zorg op Afstand is een ruim begrip waaronder een groot aantal totaal verschillende applicaties vallen die verschillende eisen stellen aan het netwerk. Hieronder worden een aantal toepassingen behandeld in volgorde van de mate waarin deze eisen stellen aan het netwerk.

[47] Bron: http://blogs.citrix.com/2013/09/26/plan-ahead-with-xendesktop-bandwidth-daily-average/

Zorgverlener met tablet

Steeds vaker beschikt een bezoekende zorgverlener over een tablet om bepaalde werkzaamheden uit te voeren, zoals het ophalen van een online patiëntendossier of het bespreken van medicijnadvies met een apotheker. Het gaat hier om een combinatie van relatief eenvoudig applicaties zoals e-mail, webbrowsing en waarschijnlijk een chatclient. Enige vereiste is de beschikbaarheid van een (draadloze) internetverbinding.

Sensoren voor locatie en medicijnen

Bij deze toepassing wordt sensorinformatie verstuurd naar zorgverleners, zodat op afstand de medicijninname en de locatie van een patiënt kan worden gemonitord. Dit houdt in dat wordt bijgehouden of en wanneer een patiënt medicijnen heeft genomen, en waar de patiënt zich (in huis) bevindt.

Dergelijke applicaties kunnen vaak prima functioneren bij een lage down-en uploadsnelheid. Belangrijker is de betrouwbaarheid van het netwerk. Wanneer de verbinding lange tijd weg valt kan dit gevolgen hebben.

Tele-consult

Patiënten kunnen door middel van een videoverbinding een tele-consult (gesprek op afstand) met de huisarts of wijkverpleegkundige voeren. Een tele-consult is een vorm van videotelefonie en stelt vergelijkbare eisen aan het netwerk. Ervanuit gaande dat het hier gaat om een verbinding tussen twee personen geldt er een aanbevolen bandbreedte tussen de 300 kbps en 1,5 Mbps voor down- én upload.

Monitoring van vitale signalen

Een stap verder dan simpele sensoren is het monitoren van vitale signalen waarbij beschikbaarheid van het netwerk zeer belangrijk is. Voor situaties als hartmonitoring wordt door zorgaanbieders een zeer zware beschikbaarheidseis gehanteerd van 99,98%[48].

Een dergelijke eis is praktisch niet haalbaar op mobiele netwerken, maar is ook op de meeste vaste netwerken niet haalbaar met een enkelvoudige verbinding. De eis is dusdanig zwaar dat dit meerdere (afzonderlijke) communicatiepaden vereist naar een pand.

Zoals is gebleken zullen de meeste applicaties die vallen onder ‘Zorg op afstand’ prima kunnen functioneren bij lage bandbreedtes. Het is bij ‘Zorg op afstand’ dan ook niet alleen een kwestie van *kunnen werken*, maar vaak een kwestie van *betrouwbaarheid*. Alvorens dergelijke toepassingen via het mobiele LTE-netwerk (of op andere consumentennetwerken) worden aangeboden, dient er eerst vertrouwen in het netwerk te zijn bij zowel patiënten, zorgverleners als verzekeringsinstanties.

4.3.2 Toepassingen in de agrarische sector

In de agrarische sector verschillen de behoeftes aan bandbreedte enorm. Er is een goede internetverbinding nodig voor diverse specifieke agrarische toepassingen zoals ‘precision farming’, melkrobots en camerabewaking.

[48] Bron: interview met ICT in de Zorg (ZonMw)

Melkrobots

Melkrobots worden vanuit een centrale helpdesk beheerd en onderhouden, wat voornamelijk eisen stelt aan de upstream bandbreedte. Afhankelijk van de gebruikersinterface is er meer of minder uploadsnelheid nodig. Zo heeft een grafische gebruikersinterface / webinterface een paar honderd kilobits upstream nodig per keer. Dit is snel teveel voor een ADSL of 3G verbinding, maar het huidige mobiele LTE zou dit wel moeten kunnen bieden. Er zijn ook apps waarmee melkrobots kunnen worden uitgelezen en aangestuurd. Deze apps werken matig tot slecht via een 3G verbinding en zullen waarschijnlijk wel goed kunnen functioneren via het huidige mobiele LTE-netwerk.

Smart Farming in de veehouderij

Door gebruik te maken van data uit camera's en sensoren in de veeteelt kan een veehouder de gezondheid en levensverwachting van de dieren verbeteren. Voorbeelden van sensoren zijn bewegingssensoren, lichaamstemperatuur van een dier, luchtkwaliteit in een stal, en rumoerdetectie in een stal. Maar hiernaast worden ook steeds vaker camera's gebruikt om visuele inspectie te vervangen.

Zolang veel van die sensor informatie kale datapunten betreft (bijv. lichaamstemperatuur, eetgedrag) is de hoeveelheid data bij veeteelt veel kleiner dan bij precisie landbouw. Beelden vertegenwoordigen echter wel een grote datastroom, maar blijven tot nu toe vooral lokaal.

Een verandering op dat vlak kan komen, wanneer dergelijke beelden naar centrale systemen worden doorgeloodst voor diepgaandere gedragsanalyse dan bewegings- en rumoerdetectie.

Camerabewaking op het platteland

Een aanzienlijk deel van de datavolumes komt uit het op steeds grotere schaal inzetten van (steeds hogere resolutie) camera's in het primaire bedrijfsproces op de boerderijen, voor bemesting- en sproeimachines en in de stallen, en bewakingscamera's. Bij veeteeltbedrijven zijn camera's voor gedragsdetectie een informatiebron.

Een geïnterviewde landbouwer maakt gebruik van een scherm met beelden van 16 camera's. Het dataverkeer naar dat scherm bedraagt ca. 50 Mbps, wat met de hoge resolutie en beeldkwaliteit te maken heeft (kleurenbeeld, 25 beelden per seconde).

Een zware verkeerslast uit het buitengebied is te verwachten (zoals in dit onderzoek is aangetroffen bij Greenet), wanneer boeren hun camerabeelden bij elkaar gaan back-uppen of ervoor kiezen die beelden in de "cloud" op te slaan.

Diensten waarbij men overal de eigen live beelden kan bekijken en camera's kan besturen via een mobiele app wordt in de detailhandel- en MKB-kantorenmarkt al op substantiële schaal als dienstverlening aangeboden bij een *kleinzakelijk pakket* over een breedbandaansluiting (tot nu vooral aan winkels en kantoren).

Precision farming (precisielandbouw)

Precision farming is een moderne manier van akkerbouw waarbij het hele proces van het gewas nauwlettend in de gaten wordt gehouden en waar nodig detail aanpassingen gedaan worden. Hiermee kan de opbrengst van een stuk grond aanzienlijk stijgen.

Bij Precision farming worden om de paar dagen grondmetingen gedaan op en rondom een perceel (effecten van bomen en houtwallen op de hoeveelheid licht op planten), waarbij een resolutie wordt gerealiseerd van enkele centimeters tijdens het meten. Per meting van een perceel gaat het om ongeveer 200 MB aan ruwe data, die verwerkt moet worden tot instructiebestanden voor machines, die veel kleiner zijn (enkele MB). Daarmee kunnen op basis van GPS landbouwmachines op de centimeter nauwkeurig over het land rijden en gedoseerd bemesten, sproeien etc. Bestanden van het land of (tijdens bewolking) gefotografeerd uit de lucht (met drones) worden gecombineerd met satellietdata.

Afhankelijk van de locatie waar de verwerking van de data uitgevoerd zal worden is een (snellere) internetverbinding nodig, maar het is niet ondenkbaar dat het om vele Gigabytes per maand gaat. Met een frequentie van twee à drie metingen per week, levert een perceel ca. 500 MB aan meetdata per week op, ofwel 2 GB per maand. De gemiddelde aardappelboer in Nederland heeft ca. 50 tot 75 ha grond in gebruik (17 tot 25 percelen), wat neer zou komen op ca. 35 tot 50 GB aan meetdata (upload) per maand.

4.3.3 Internet thuis en onderwijs

Ook voor scholieren is internet thuis van steeds groter belang. Zo is om werkstukken te maken toegang tot informatie via internet (webbrowsing) een noodzaak.

Daarnaast is ook steeds meer les of oefenmateriaal dat hoort bij lesmethodes 'digitaal' en moeten leerlingen als huiswerk thuis oefeningen maken via een webportal.

Ook samenwerking en overleg met andere leerlingen in projecten vindt plaats via email, websites en chat, en communicatie tussen school en leerling en school en ouders vindt in steeds grote mate plaats via digitale nieuwsbrieven en email[49][50].

Dergelijke toepassingen stellen voor hun functioneren nauwelijks eisen aan de internetverbinding. Echter, de gebruikservaring is wel sterk afhankelijk van de bandbreedte die wordt geboden. Voor een goede gebruikservaring zal minimaal dezelfde bandbreedte nodig zijn als nodig is om 'prettig' te kunnen webbrowsen, d.w.z. 5 Mbps downloadsnelheid.

4.4 Verkeervolumes mobiel en vast

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op trends in verkeersvolumes voor vast en mobiel internetverkeer.

Mobiele verkeersvolumes

Uit door ACM verzamelde gegevens over mobiel internet gebruik blijkt (zie onderstaande tabel) dat een gemiddelde mobiele gebruiker rond de 400 MB aan data gebruikt per maand en dat de hoeveelheden MB's per maand per gebruiker op mobiele netten aan het stijgen is.

---

[49] Bron: Salemink K., Strijker, D. (2012), Breedband op het platteland, Rijksuniversiteit Groningen http://www.rug.nl/frw/news/2012/final_breedband.pdf

[50] Bron: http://www.nieuwsblad.be/cnt/bllva_20110221_004

Tabel 4.1: Verbruik volumes op mobiele netten [bron: ACM Telecommonitor]

	Totaal mobiele aansluitingen (miljoenen)	Verkeer per gebruiker (MB/maand)
3e kw 2013	10,4	278
4e kw 2013	10,8	318
1e kw 2014	11,1	349
2e kw 2014	11,3	420
3e kw 2014	11,6	508

Vaste Verkeersvolumes

Van een aantal (vaste) ISP's zijn algemene verkeersprofielen en informatie geanalyseerd (zie Annex G) en per snelheidscategorie zijn gemiddelde verkeersniveaus en volumes berekend, welke worden getoond in de onderstaande tabel.

Hierbij blijkt er een duidelijke correlatie te zijn tussen de aangeboden snelheid en het afgenomen verkeer. Dit is deels te verklaren doordat zware gebruikers eerder geneigd zijn een sneller abonnement te kiezen, maar uit interviews met operators blijkt ook dat gebruikers die meer capaciteit krijgen aangeboden deze ook intensiever gaan gebruiken.

Tabel 4.2: Verkeersvolumes per maand voor vaste ISP's

Gemiddeld aangeboden downloadsnelheid	Gerealiseerd Verkeer per aansluiting per maand		
	Up GB	down GB	totaal GB
< 30 Mbps	6-13	36-45	42-58
≥ 30 Mbps	~17	~69	86
≥ 100 Mbps	37-59	79-162	116-221

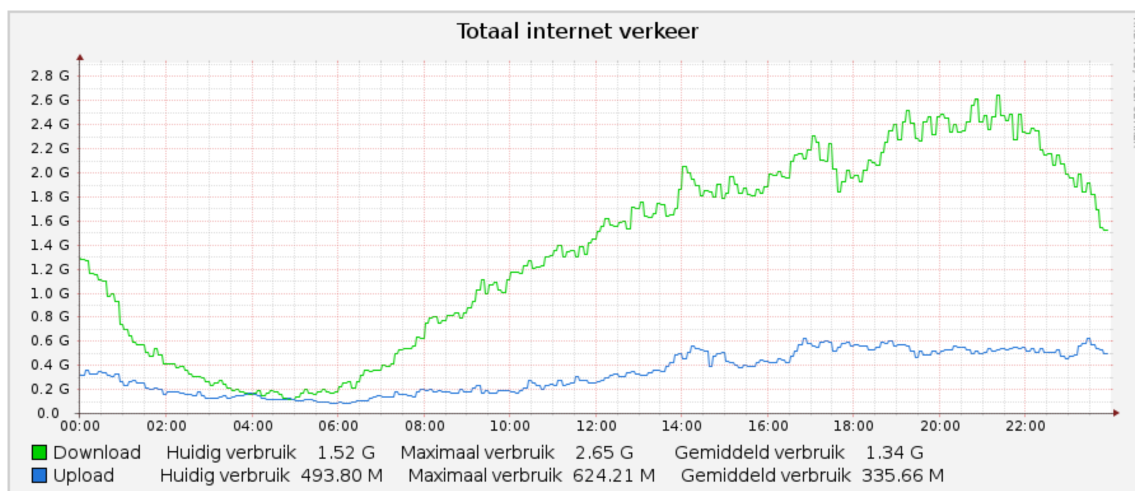
Dataverbruik op vaste netten is niet constant (zie figuur 4.1 voor een typische doordeweekse dag[51]), en voor capaciteitsplanning is vooral het piekverkeersniveau relevant.

Verschillen verkeersvolumes mobiel en vast

Uit vergelijking van verkeersvolumes is te zien dat volumes voor vaste breedbandaansluitingen aanzienlijk hoger (in de orde van enkele tientallen tot een factor 100) liggen dan op mobiele netwerken.

Dit komt omdat het internet-gedrag op vaste verbindingen anders is dan bij mobiel internet: Vaste verbindingen worden gedeeld door meerdere personen (huishouden of bedrijf), die ieder tegelijk actief kunnen zijn met meerdere applicaties. Bovendien wordt er meer gebruik gemaakt van zware toepassingen.

[51] Een elke 5 minuten ververste grafiek is te vinden op http://www.kabelnetveendam.nl/dataverkeer/



Figuur 4.1: Internetverkeer voor alle abonnees op vrijdag 19 dec 2014 bij Kabelnet Veendam

Mobiel gebruik beperkt zich meestal tot één persoon en één apparaat. Ook wordt het dataverbruik vaak 'kunstmatig' laag gehouden, bijvoorbeeld omdat waar mogelijk op Wi-Fi wordt overgeschakeld. Veel mobiele apparaten wachten voor de zwaardere downloads (zoals updates) tot het toestel overschakelt op Wi-Fi.

Wanneer LTE als vervanger voor 'vast' wordt gebruikt op plaatsen waar geen snel vast internet beschikbaar is, zal dit uiteindelijk met zich mee brengen dat men dan ook met veel grotere verkeersvolumes te maken krijgt dan men gewend is bij mobiel gebruik[52].

4.5 Overboeking en congestie op mobiele netwerken

Bij zowel vaste als mobiele netwerken wordt de datacapaciteit gedeeld door meerdere gebruikers. De kans op congestie is bij mobiele netwerken echter groter, doordat per sector een beperkte capaciteit wordt gedeeld door een groep gebruikers. Hierdoor is het mogelijk dat voor gebruik van een zware toepassing een substantieel deel van de capaciteit in een sector nodig is, al is het maar voor enkele minuten.

Bij kabelnetwerken, die eveneens voor gedeeld gebruik zijn ontworpen, is de bandbreedte die wordt gedeeld aanzienlijk hoger en wordt deze gedeeld over honderden abonnees. De kans dat er dusdanig veel gelijktijdige (zware) gebruikers zijn dat de volledige capaciteit wordt benut, is in dit geval statistisch vele malen kleiner dan in de situatie voor mobiele netwerken.

Veel applicaties kunnen individueel prima functioneren met de capaciteit van LTE-netwerken, maar zodra meerdere gebruikers in piekuren het net belasten, dan zal de gelijktijdigheid van toepassingen en gebruikers en de relatief beperkte sectorcapaciteit al snel kunnen leiden tot congestie wat gevolgen zal hebben voor de prestaties van bepaalde toepassingen.

[52] Greenet zet draadloze technologie in als vaste internetverbinding en meldt veel ´Over-the-Top´ videoverkeer zoals Netflix. Greenet kan dit soort volumes aan door specifieke netwerkplanning voor het buitengebied en door gebruik te maken van buitenantennes.

De congestieproblemen ontstaan vooral bij die toepassingen, waar gedurende een langere periode, meerdere gebruikers gelijktijdig veel gegevens opvragen of versturen. Praktisch gezien zijn dit toepassingen die betrekking hebben op hoge kwaliteit video en het up- en downloaden van omvangrijke bestanden (verzamelingen foto's, video's, databestanden).

Wordt beeld continu verzonden, zoals bij bewakingscamera's of het langdurig bekijken van een videoprogramma (Netflix), dan is er sprake van een forse belasting, ook al is het capaciteitsbeslag (de bandbreedte van de toepassing zelf) nog niet enorm groot.

Overigens hebben de operators in geval van structurele overbelasting natuurlijk ook de mogelijkheid om de capaciteit in het netwerk te verhogen. Dit kan o.a. door het plaatsen van extra opstelpunten of het toevoegen van antenne-installaties op bestaande opstelpunten, gebruikmakend van andere frequentiebanden (zoals 1800 en 2600 MHz).

4.5.1 Datalimieten en tarifering

De huidige LTE-netwerken zijn voornamelijk ingericht op mobiel gebruik door onder meer smartphones, tablets en laptops. Dit geldt ook voor de abonnementen die worden aangeboden en de voorwaarden die hierop gelden. Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat de capaciteit op mobiele netwerken en de kosten daarvan niet te vergelijken zijn met die van vaste netwerken.

Een belangrijk verschil tussen vast en mobiel internet is dat er bij vaste verbindingen een 'flat fee' model wordt gehanteerd (waarbij er onbeperkt gebruikt gemaakt kan worden van de verbinding) terwijl er bij mobiel internet datalimieten gelden waarop ook in prijs wordt gedifferentieerd. De Nederlandse mobiele operators hanteren maandelijkse datalimieten van maximaal 8 à 10 GB voor ongeveer 40 tot 50 euro per maand. Bij overschrijding van deze datalimiet zijn de kosten ongeveer 7 tot 10 Euro per GB.

Zoals toegelicht zijn de verkeersvolumes op vaste netten aanzienlijk hoger dan wat gebruikelijk is bij mobiel dataverkeer. Wanneer op LTE-netwerken vergelijkbare volumes worden behaald als bij vaste verbindingen heeft dit als gevolg dat met de huidige mobiele abonnementen de kosten flink zullen oplopen.

4.6 Conclusie

De 'basis' toepassingen en ook veel van de geavanceerdere toepassingen zullen – mede door de lagere latency ten opzichte van bijvoorbeeld UMTS netwerken - goed over LTE-technologie kunnen functioneren, zeker op plaatsen waar 30 Mbps aan snelheid wordt gehaald.

Bij de geavanceerdere toepassingen ziet men wel dat vereiste bandbreedtes vaak hoger zijn, maar ook dan nog liggen de minimale bandbreedte vereisten – per toepassing - (ruim) lager dan 30 Mbps. Een aantal van deze applicaties (zoals streaming video) kan zichzelf aanpassen aan lagere downloadsnelheden als de beschikbare capaciteit daar aanleiding toe geeft.

Wel dient opgemerkt te worden dat zodra er meerdere (vele) gebruikers dezelfde beperkte capaciteit moeten delen er – met name voor deze geavanceerdere toepassingen – een bottleneck kan ontstaan.

Dit geldt in het bijzonder voor toepassingen waarbij een continue capaciteit nodig is (zoals video streaming en IPTV). Een enkele (of zelfs meerdere) 'standard definition' stream van 3 Mbps vormt geen probleem, maar zodra een hogere bitrate gewenst is of er sprake is van meer gelijktijdige gebruikers zal dit snel leiden tot congestie op het netwerk.

Ook veel specialistische toepassingen in de zorg en agrarische sector kunnen functioneren bij snelheden onder de 30 Mbps. Bij een aantal van deze toepassingen speelt de betrouwbaarheid en stabiliteit van het netwerk echter een grotere rol. Dit zal bij draadloze netwerken nagenoeg altijd lager liggen dan bij vaste netwerken.

5 Praktijksituatie in buitengebied

In de voorgaande hoofdstukken is kwalitatief vastgesteld welke (technische) mogelijkheden en beperkingen er spelen wanneer LTE wordt ingezet als alternatief voor een vaste verbinding in het buitengebied. Om een idee te krijgen hoe dit zich vertaalt naar de werkelijkheid wordt in dit hoofdstuk illustratief een mogelijke praktijksituatie uitgewerkt. Hiertoe is een analyse gedaan van het (typische) dekkingsgebied van een LTE-mast in het buitengebied. Omdat gebruikers de beschikbare capaciteit moeten delen, is een inschatting gemaakt van het aantal (vaste) gebruikers dat verwacht kan worden op een LTE-mast en de effectief beschikbare capaciteit.

LTE-dekking in het buitengebied

Het dekkingsgebied van een (enkele) mast van een operator wordt een 'cel' genoemd en bestaat typisch uit drie sectoren.

Om een indicatie te krijgen van het aantal potentiele (vaste) gebruikers per mast wordt bepaald hoeveel adressen zonder snel vast internet er typisch worden bediend door een enkele mast in het buitengebied.

Op basis van het Antenneregister en de dekkingsanalyse uit hoofdstuk 2 is voor een landelijke operator geanalyseerd wat de relevante kenmerken zijn van een typische LTE-cel in het buitengebied.

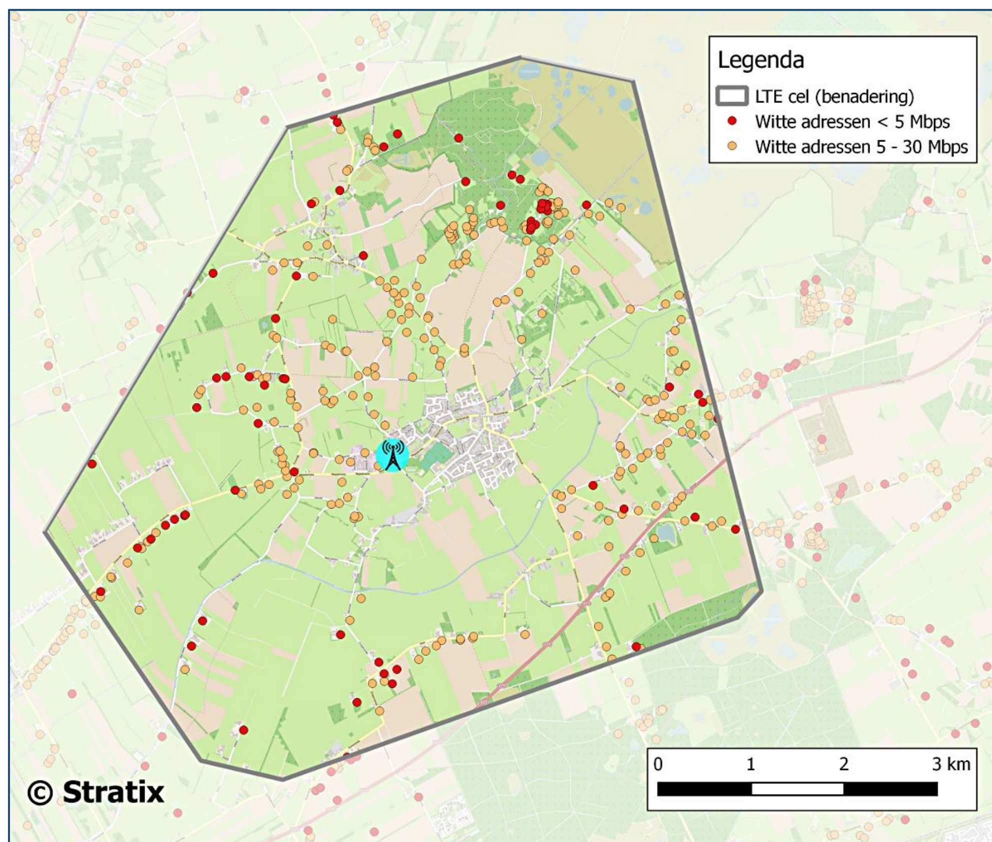
Uit deze analyse blijkt dat 50% van de adressen zonder snel internet binnen de dekking valt van 16% van de masten (cellen) van de betreffende operator. Op basis hiervan is aangenomen dat deze cellen representatief zijn voor het buitengebied. In deze 'buitengebied cellen' bevinden zich gemiddeld 332 adressen zonder snel vast internet. In tabel 5.1 is een samenvatting weergegeven van de (overige) relevante kengetallen.

Tabel 5.1: Relevante kengetallen voor LTE-cellen in het buitengebied

	Alle cellen	cellen buitengebied
Gemiddeld aantal adressen zonder snel vast internet (< 30 Mbps)	105	332
Gemiddeld aantal adressen met vast internet < 5 Mbps	18	53
Gemiddelde oppervlakte	13 km^2	26 km^2
Gemiddelde afstand tot celrand[53]	1,7 km	2,7 km

Ter indicatie is in figuur 5.1 een geografische overzicht gegeven van een representatieve cel in het buitengebied, waarbij de getoonde cel qua de kentallen sterk overkomt met de gemiddelden voor een mobiele cel in buitengebied.

[53] onder de aanname dat de cel een cirkel is met de zendmast in het centrum.



Figuur 5.1: Typisch voorbeeld van gemiddelde LTE-cel in het buitengebied [bron: Stratix]

Aantal actieve gebruikers

In ons voorbeeld gaan we uit van de cel van een enkele operator. In veel gevallen zullen meerdere operator(s) diensten aanbieden in hetzelfde (dekkings)gebied. Daarnaast zullen niet alle adressen zonder snel vast internet gebruik maken van LTE als alternatief voor hun vaste verbinding. Hierbij gaan we ervan uit dat mensen meer of minder belangstelling hebben in LTE, afhankelijk van de beschikbare vaste verbinding.

Op basis hiervan nemen we aan dat van de adressen die enkel kunnen beschikken over een vaste verbinding met minder dan 5 Mbps downloadsnelheid, de helft (27 gebruikers) van dezelfde mast (en operator) gebruik maakt. Voor adressen die kunnen beschikken over vaste verbinding tussen de 5 en 30 Mbps downloadsnelheid, wordt aangenomen dat een derde (92 gebruikers) van dezelfde mast (en operator) gebruik maakt.

Dit komt neer op in totaal 119 adressen gemiddeld per cel in het buitengebied die gebruik maken van LTE als alternatief voor vast.

Uitgaande van drie sectoren per cel en een evenredige verdeling van adressen rondom de mast komen we uit op afgerond 40 gebruikers per sector.

Tabel 5.2: Schatting aantal (vaste) gebruikers per sector in het buitengebied

Downloadsnelheid vaste verbinding	Aantal witte adressen	Conversie	Aantal gebruikers
Minder dan 5 Mbps	53	50%	27
5 tot 30 Mbps	279	33%	92
Totaal per LTE-cel	**332**		**119**
Totaal per LTE-sector	**111**		**40**

Te verdelen capaciteit en bandbreedte

De te verdelen maximale downlink capaciteit op een sector bedraagt ongeveer 73 Mbps[54]. De effectieve sectorcapaciteit zal, afhankelijk van de signaalkwaliteit bij de gebruikers, lager uitvallen. Bij de steekpoef is gebleken dat de werkelijke downloadcapaciteit vlakbij een mast rond de 50-70 Mbps ligt. Aan de rand van een cel ligt deze downloadcapaciteit aanzienlijk lager (met standaard consumentenapparatuur is er 10-20 Mbps gemeten, met een richtantenne was dit ongeveer 30-50 Mbps). Wanneer we ervan uitgaan dat aan de rand van een cel er gebruik wordt gemaakt van een richtantenne dan zal de effectieve download-capaciteit van een LTE-sector ongeveer 40-60 Mbps zijn. Deze capaciteit zal typisch gedeeld worden door ongeveer 40 (vaste) gebruikers. In dit voorbeeld wordt geen rekening gehouden met regulier mobiel verkeer op de LTE-mast. In de meeste gevallen bedient de betreffende mast ook (een deel van) een bevolkingskern of een deel van een (snel)weg.

Gevolgen voor de gebruikservaring

Uit de voorbeeldberekening blijkt dat er voor 40 gebruikers ongeveer 40-60 Mbps sectorcapaciteit beschikbaar is. In theorie kan deze gebruikers dus een 30Mbps verbinding worden geboden met een overboekingsfactor van 1:40. Ter vergelijking, voor vaste consumenten-internetverbindingen wordt in de praktijk meestal een overboekingsfactor van tussen de 20 en 100 toegepast afhankelijk van de internetaanbieder.

In de praktijk kan het ervaren dienstenniveau tijdens piekuren aanmerkelijk minder zijn. De beschikbare sectorcapaciteit vormt een beperking wanneer meerdere gebruikers tegelijkertijd zware toepassingen uitvoeren. Met name in het buitengebied waar de infrastructuur voor TV aanbod vaak beperkt is tot Digitenne of Satelliet bestaat de kans dat er veel gebruik gemaakt gaat worden van videotoepassingen (bijvoorbeeld ‘Uitzending gemist’ of Netflix). Aangezien een standaard SD stream ongeveer 3 Mbps bandbreedte vergt en een HD stream ongeveer 5 Mbps, is het mogelijk om met ongeveer 10-15 gelijktijdige kijkers de volledige capaciteit van de sector te benutten. Uitgaande van 40 gebruiksadressen waar op ieder adres meerdere gebruikers kunnen wonen is het zeker denkbaar dat het ervaren dienstenniveau tijdens piekuren aanmerkelijk minder kan zijn dan daarbuiten. Tenslotte zijn de prestaties bij LTE ook afhankelijk van (wisselende) radiocondities[55] waardoor het dienstenniveau minder stabiel zal zijn dan op de vaste netten.

---

54 Uitgaande van 10 MHz frequentieblokken, wat het geval is in de 800 MHz band

55 Signaalkwaliteit kan o.a. worden beïnvloed door weersomstandigheden en interferentie van andere mobiele apparatuur

6 Conclusies

De hoofddoelstelling van dit onderzoek is:

> *De dekking van LTE-netwerken (voor mobiel internet) in kaart te brengen en inzicht te geven in wat deze netwerken kunnen betekenen voor mensen in buitengebieden met gebrekkige ('vaste') internet toegang.*

In grote delen van Nederland is LTE-dekking beschikbaar. In hoeverre deze dekking een alternatief biedt voor huishoudens en bedrijven zonder snel vast internet is afhankelijk van de snelheid van de LTE-netwerken, de gebruikte toepassingen, de beschikbare apparatuur, en de drukte op de netwerken ter plaatse.

Op basis van een analyse van de huidige LTE-netwerken, het gedrag van gebruikers op de vaste netwerken, en de relevante toepassingen kunnen we concluderen dat de huidige mobiele netwerken wel degelijk iets te bieden hebben voor inwoners van de zogenaamde buitengebieden. Door middel van veldmetingen hebben wij deze conclusie kunnen bevestigen.

De mobiele LTE-netwerken bieden, zeker indien een (externe) richtantenne gebruikt wordt, al snel betere down- en uploadsnelheden dan ADSL. Dit betekent dat gebruikers in het buitengebied sneller kunnen e-mailen en webbrowsen en gebruik kunnen maken van lage-kwaliteit streaming video toepassingen. Voor sommige, meer geavanceerde toepassingen is de capaciteit van de mobiele LTE-netwerken niet voldoende, met name als er een groot aantal gebruikers tegelijkertijd gebruik van zou willen maken. Daar waar LTE specifiek wordt ingezet voor 'vaste' verbinding zoals bij Greenet het geval is, is de beschikbare capaciteit beter in te regelen om hierop in te spelen.

In de volgende paragrafen lichten we onze conclusies verder toe.

6.1 Actuele dekking snel vast internet

> *Hoeveel huishoudens en bedrijven hebben geen beschikking over snel internet via ten minste één vast netwerk en waar bevinden deze huishoudens en bedrijven zich?*

Uit de dekkingsanalyse van vast internet blijkt dat in Nederland ongeveer 196 duizend huishoudens (3%) geen toegang hebben tot een snelle vaste internetverbinding (gedefinieerd als: boven de 30 Mbps downloadsnelheid) via VDSL, kabel of glasvezel. Daarnaast hebben ongeveer 132 duizend bedrijfsvestigingen (9%) geen toegang tot een dergelijke snelle vaste internetverbinding.

Hierbij valt op dat er in de dichtstbevolkte provincies (Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht) er weliswaar relatief minder huishoudens en bedrijfsvestigingen zijn die niet kunnen beschikken over snel vast internet, maar er ook in die provincies nog gebieden zijn waar geen snelle vaste internetverbinding beschikbaar is.

6.2 Actuele dekking LTE-netwerken

Volgens dekkingsgegevens van de grootste mobiele operators kan nagenoeg heel Nederland beschikken over een minimale LTE-dienst met (piek) downloadcapaciteit van 5 Mbps. Er zijn echter aanzienlijke delen van het land waar LTE-dekking geen 30 Mbps downloadcapaciteit biedt.

Ongeveer 522 duizend huishoudens (7%) en 121 duizend bedrijfsvestigingen (8%) beschikken niet over LTE-dekking met een (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps.

De meerderheid van deze huishoudens en bedrijfsvestigingen bevinden zich in dunbevolkte gebieden in het oostelijke deel van het land.

6.2.1 LTE-dekking in gebieden zonder snel vast internet

> *In welke gebieden in Nederland waar geen vast snel internet beschikbaar is, is sprake van LTE-buitenhuisdekking, en om hoeveel huishoudens en bedrijven gaat dit?*

Uit de dekkingsanalyse is gebleken dat het merendeel van de huishoudens en bedrijven die geen toegang hebben tot snel vast internet, wel over een goede LTE-dekking beschikken.

Nagenoeg alle huishoudens en bedrijfsvestigingen zonder snel vast internet kunnen ten minste beschikken over een minimale LTE-dienst met (piek) downloadcapaciteit van 5 Mbps.

Daarnaast beschikken 138 duizend van de 196 duizend huishoudens zonder toegang tot snel vast internet over LTE-dekking met een (piek) downloadcapaciteit van 30 Mbps. Dit geldt ook voor 107 duizend van de 132 duizend bedrijfsvestigingen zonder toegang tot snel vast internet.

6.3 Mobiele LTE in de praktijk: Prestaties in buitengebieden

> *Wat kan speciale randapparatuur (bijvoorbeeld een buitenantenne) betekenen voor een LTE-verbinding die gebruikt wordt om apparaten binnenshuis of op kantoor aan te sluiten als alternatief voor een vaste internetaansluiting;*

Om LTE in te kunnen zetten op een vergelijkbare wijze zoals een vaste internetverbinding

wordt ingezet, kan er gebruik worden gemaakt van LTE-routers in combinatie met externe (richt)antennes. Dergelijke apparatuur is reeds verkrijgbaar op de Nederlandse markt.

Agentschap Telecom heeft, in samenwerking met Stratix, veldmetingen verricht met LTE op een beperkt aantal locaties in het buitengebied waar geen snel vast internet beschikbaar is. Bij deze veldmetingen is algemeen beschikbare consumentenapparatuur gebruikt, en is er zowel dicht bij de LTE-mast als op enkele kilometers afstand gemeten. Dicht bij de mast naderde de gemeten downloadsnelheid de theoretisch haalbare downloadsnelheid op LTE, circa 50 Mbps. Op enkele kilometers werd gemiddeld rond de 10-20 Mbps gehaald.

Er is gebleken dat deze resultaten aanzienlijk kunnen worden verbeterd door gebruik te maken van een externe richtantenne. Met een goed ingestelde richtantenne werden er op dezelfde locaties downloadsnelheden gemeten die ca. 20 Mbps hoger lagen (30-50 Mbps).

De uploadsnelheden en latency (netwerkvertraging) op LTE bleken bij de veldmetingen zeer stabiel. Er werden uploadsnelheden gemeten van ca. 10-20 Mbps, wat hoger is dan de uploadsnelheden die typisch worden aangeboden op de meeste vaste netwerken. Voor de latency werd gemiddeld ca. 40 ms gemeten, waarmee LTE een drastische verbetering is ten opzichte van eerdere mobiele technologieën (UMTS/HSDPA). Desalniettemin ligt de latency nog steeds significant hoger dan op de vaste netten gebruikelijk is (typisch <20 ms).

Uit de steekproef is ook duidelijk geworden dat de door LTE geboden capaciteit wordt gedeeld. Indien twee gebruikersapparaten simultaan up- of downloaden, is de gezamenlijke doorvoersnelheid vergelijkbaar met de doorvoersnelheid die op dezelfde locatie wordt behaald met een enkel apparaat.

6.4 Geschiktheid LTE voor internettoepassingen

Voor welk type diensten is een LTE-verbinding geschikt?

De technische mogelijkheden van LTE zijn voldoende om de meeste gangbare breedbandtoepassingen goed te kunnen ondersteunen. Zowel theoretisch als praktisch blijkt LTE in staat om (piek)snelheden van rond de 30 Mbps te kunnen bieden.

Hieruit volgt dat 'basistoepassingen', zoals e-mail, webbrowsing, VoIP, audio streaming en webvideo streaming, met LTE goed zullen functioneren. Deze toepassingen zijn niet afhankelijk van hoge downloadsnelheden (30 Mbps of meer), gebruiken over het algemeen geen grote datavolumes, en zijn weinig gevoelig voor latency. Daarom zullen deze toepassingen over het algemeen goed functioneren op het huidige mobiele LTE-netwerk.

Bij de meer geavanceerde toepassingen, zoals (on-demand) TV streaming, online gaming, online storage en werken op afstand, liggen de vereiste bandbreedtes vaak aanzienlijk hoger. Echter ligt de minimale vereiste bandbreedte per toepassing vaak nog steeds (ruim) lager dan 30 Mbps. Een aantal van deze applicaties (zoals streaming video) zal zich bovendien aanpassen aan de beschikbare downloadsnelheid.

Ook veel specialistische zorg- en landbouwtoepassingen zullen werken bij snelheden onder de 30 Mbps. Bij een aantal van deze toepassingen speelt de betrouwbaarheid en stabiliteit van het netwerk een grotere rol; deze zullen bij draadloze aansluitingen altijd iets lager liggen dan bij vaste aansluitingen. Hierdoor is voor de meest kritische toepassingen een goede vaste verbinding beter geschikt.

Zodra er meerdere gebruikers dezelfde 30 Mbps moeten delen kan er – met name voor deze geavanceerdere toepassingen – een bottleneck ontstaan. Een enkele (of zelfs meerdere) 'standaard-kwaliteit' stream van 3 Mbps vormt geen probleem, maar zodra een hogere kwaliteit (HD) gewenst is of er meer gelijktijdige gebruikers zijn, zal de beschikbare bandbreedte omlaag gaan. Dit geldt vooral voor toepassingen waarbij een continue capaciteit nodig is (zoals video streaming); bij toepassingen als mail en webbrowsing is de kans dat gebruikers precies gelijktijdig de maximale capaciteit proberen te benutten een stuk kleiner.

Op het gebied van latency en jitter bieden de mobiele LTE-netwerken een grote verbetering ten opzichte van voorgangers (UMTS/HSDPA); deze prestaties blijken in de praktijk echter nog wel onder te doen aan moderne vaste verbindingen. Dit betekent dat toepassingen die hiervoor gevoelig zijn, zoals videotelefonie en online gaming, weliswaar zullen functioneren maar een minder goede gebruikerservaring zullen leveren.

6.5 LTE als alternatief voor vast internet in het buitengebied

In welke mate kunnen de huidige LTE-netwerken dienen als alternatief voor een vaste internetverbinding?

Uit de dekkingsanalyse is gebleken dat LTE beschikbaar is in zeer grote delen van Nederland, waaronder ook een groot deel van de locaties die geen toegang hebben tot snel vast internet. Ook is gebleken dat LTE technisch in staat is om de meeste internettoepassingen zonder problemen te kunnen ondersteunen. Bovendien is uit veldmetingen gebleken dat LTE ook praktisch in staat is om een dienstenniveau te bieden dat verglijkbaar kan zijn met snelle vaste verbindingen.

Wanneer LTE op grote schaal ingezet zou worden als alternatief voor vaste netwerken, kan het feit dat de capaciteit in sterke mate wordt gedeeld wel gevolgen hebben voor de prestaties.

In algemeenheid wordt op basis van dit onderzoek geconcludeerd dat LTE meerwaarde kan bieden voor gebruikers in het buitengebied, al blijft de waarde ervan ook sterk afhankelijk van het profiel van die gebruiker(s). LTE kan, zeker in combinatie met een (externe) richtantenne, hogere datasnelheden bieden voor veel gebruikers in het buitengebied die beschikken over gebrekkig vast internet. Hierbij gelden de volgende aandachtspunten.

6.5.1 Aandachtspunten bij inzet van LTE als alternatief voor vast

Mobiele Proposities niet te vergelijken met vaste abonnementen

De capaciteit op mobiele netwerken en de kosten daarvan zijn niet te vergelijken met die van vaste netwerken. Dit heeft zijn weerslag op de LTE-abonnementen die momenteel beschikbaar zijn en welke volledig zijn afgestemd op "mobiel gebruik".

Als een eindgebruiker de mobiele LTE-dienst gaat gebruiken als vervanger voor vast (met bijbehorende datavolumes), dan zullen de bestaande datalimieten van LTE-abonnementen vaak onvoldoende zijn. Een overschrijding van de datalimiet zal in de praktijk leiden tot (aanzienlijke) extra kosten of een drastische verlaging van de bandbreedte. De kosten tussen mobiele LTE- en vaste abonnementen zullen daardoor voor vergelijkbare datavolumes totaal verschillend zijn.

Overboeking en congestie

Een belangrijke kanttekening die gezet moet worden bij de potentie van LTE, is dat de geboden capaciteit bij de huidige LTE-netwerken onder de gebruikers wordt gedeeld. Hoewel veel vaste aanbieders ook overboekingen hanteren, wijkt LTE af in de zin dat een relatief beperkte capaciteit wordt gedeeld door een groep gebruikers. Hierdoor is de kans statistisch gezien aanzienlijk groter dan bij vast breedband dat bij intensief gebruik (bijv. televisie kijken via NPO live of Netflix, online back-up of precision farming) er congestie ontstaat.

Zeker in het buitengebied, waar vaak ook minder keuze is op het gebied van hoogwaardige infrastructuur voor een televisiedienst, bestaat een reële kans dat bewoners via LTE massaal gebruik gaan maken van videotoepassingen. Dit kan leiden tot congestie op het netwerk, en daarmee tot een vermindering van de gebruikerservaring.

Annex A Gesprekspartners/interviews

Organisatie	Naam
Greenet	Bart Heinink
KPN	Sico Enzler, Gerard de Groot
NL Kabel	Mathieu Andriessen
NPO	Egon Verharen, Gerjo Bruntink
Solcon	Peter van der Vlies
Tele2	Bart Heinink
T-Mobile	Miriam van Deursen, Juan Alberto Brescoli, Richard Marijs
Unet	Bart van der Snoek, Frank van Berkel
Van Den Borne aardappelen	Jacob van den Borne
Vodafone	Wim Ockeloen, Ron Silverentand
Ziggo	Stein Smeets
ZonMw	Chris Flim

Annex B Dekkingsgegevens vast internet

Om de (on)beschikbaarheid van snel vast breedband in kaart te brengen is uitgegaan van Stratix dekkingsgegevens in combinatie met CBS gegevens van huishoudens en bedrijfsvestigingen en ACM gegevens over toegang tot breedband.

Brongegevens breedband dekking

Stratix dekkingsgegevens vast breedband

Stratix beschikt over een database met de dekking van vast breedband in Nederland. Stratix heeft deze database op eigen kosten ontwikkeld ter ondersteuning van onze onafhankelijke onderzoeken. De database is gebaseerd op publieke gegevens van internetproviders en eigen onderzoek. Internetproviders waarvan gegevens zijn opgenomen in de database zijn Reggefiber, KPN, Ziggo, UPC, Caiway, Kabelnoord, Cogas en Zeelandnet. Het betreft informatie over consumentenaansluitingen, zakelijke aansluitingen zijn buiten beschouwing gelaten.

Op basis van adresgegevens uit de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) zijn deze dekkingsgegevens geprojecteerd op een 100x100 meter raster. Voor de rasterpunten is op basis van de database bepaald welke breedbandnetwerken er beschikbaar zijn en wat de maximaal aangeboden downloadcapaciteit is.

ACM dekkingsgegevens vast breedband

De Autoriteit Consument & Markt (ACM) is, evenals andere toezichthouders in de EU, door de Europese Commissie verzocht informatie te verstrekken over de beschikbaarheid van (vast) breedband. Over de resultaten hiervan wordt verslag gedaan in een recentelijk gepubliceerd rapport[56]. ACM heeft hiertoe Reggefiber, KPN, Ziggo, UPC, CIF, Kabel Noord, Cogas en Delta aangeschreven met het verzoek informatie aan te leveren.

In de informatie die ACM van de operators heeft ontvangen is per 6-positie postcodegebied (6PPC) aangegeven of dat gebied via het netwerk van de operator bediend kan worden en welke techniek(en) de operators in het postcodegebied aanbiedt en welke (maximale) downloadsnelheid er daadwerkelijk geboden kan worden (ten minste 2 Mbps, ten minste 30 Mbps, of ten minste 100 Mbps). Aansluitingen uitsluitend bedoeld voor zakelijke diensten zijn buiten beschouwing gelaten. Voor dit onderzoek heeft ACM op basis van deze informatie een (geografisch) overzicht met postcodegebieden aangeleverd van gebieden waar géén snel vast breedband beschikbaar zou zijn.

Brongegevens aantallen huishoudens en bedrijven

CBS gegevens huishoudens en bedrijfsvestigingen

CBS gegevens met het aantal huishoudens per 6-positie postcodegebied (6PPC) en een bestand met het aantal bedrijfsvestigingen per 6-positie postcodegebied (6PPC) zijn gebruikt

---

[56] Broadband Coverage in Europe 2013, European Commission

om te bepalen hoeveel huishoudens en/of bedrijfsvestigingen binnen een bepaald dekkingsgebied vallen.

Het door het CBS verstrekte bestand met het aantal huishoudens per postcodegebied bevat het aantal huishoudens (aselect) afgerond op vijftallen. Huishoudensgegevens zijn enkel vermeld wanneer er op een postcode meer dan 5 particuliere huishoudens voorkomen. De belangrijkste bronnen voor het samenstellen van de huishoudensstatistiek van CBS zijn de Structuurtelling Gemeentelijke basisadministratie (GBA), het Geografisch Basisregister (GBR), het Woningregister en het Sociaal Statistisch Bestand (SSB).

Het door het CBS verstrekte bestand met aantal bedrijfsvestigingen per postcodegebied bevat het aantal vestigingen (aselect) afgerond op vijftallen. De belangrijkste bronnen voor het samenstellen van de vestigingenstatistiek van CBS zijn het Algemeen Bedrijven Register (ABR) en gegevens over vestigingen uit het Handelsregister.

Basisregistraties Adressen en Gebouwen

De Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) is een landelijk register van alle gemeentelijke basisinformatie omtrent adressen en gebouwen. Alle gemeenten stellen gegevens over adressen en gebouwen centraal beschikbaar via de Landelijke Voorziening BAG (LV BAG), beheerd door het Kadaster. Het Kadaster stelt deze gegevens beschikbaar onder de Publiek Domein licentie en dus zijn deze door zowel overheden als private partijen vrij te gebruiken, ook voor commerciële doeleinden.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een bestand met alle adresseerbare objecten die zijn opgenomen in het BAG in februari 2014. Deze informatie is gebruikt om te bepalen hoeveel adressen vallen binnen de verschillende dekkingsgebieden. Adressen die zijn opgenomen in het BAG kunnen zowel huishoudens, bedrijven als andere locaties betreffen.

Detailresultaten dekkingsanalyse

In de tabellen hieronder worden overzichten gegeven van de resultaten van de dekkingsanalyse vast internet. Hierin worden ook de verschillen tussen de ACM gegevens en Stratix gegevens inzichtelijk gemaakt. Alle aantallen zijn afgerond op duizendtallen.

Tabel B.1: Per provincie de aantallen huishoudens (CBS) zonder VDSL, kabel (Docsis 2.0 of hoger) of glasvezel

Provincie	Totaal huishoudens	Stratix huishoudens	ACM huishoudens	Gemiddeld	Percentage
Drenthe	211.000	10.000	9.000	10.000	*5%*
Flevoland	163.000	10.000	5.000	8.000	*5%*
Friesland	284.000	14.000	18.000	16.000	*6%*
Gelderland	875.000	40.000	35.000	37.000	*4%*
Groningen	286.000	13.000	12.000	12.000	*4%*
Limburg	515.000	10.000	8.000	9.000	*2%*
Noord-Brabant	1.089.000	28.000	22.000	25.000	*2%*
Noord-Holland	1.297.000	22.000	17.000	19.000	*1%*
Overijssel	482.000	28.000	23.000	26.000	*5%*
Utrecht	560.000	9.000	9.000	9.000	*2%*
Zeeland	170.000	6.000	4.000	5.000	*3%*
Zuid-Holland	1.636.000	19.000	19.000	19.000	*1%*
Nederland	**7.567.000**	**209.000**	**183.000**	**196.000**	***3%***

Tabel B.2: Per provincie de aantallen bedrijfsvestigingen (CBS) zonder VDSL, kabel (Docsis 2.0 of hoger) of glasvezel

Provincie	Totaal vestigingen	Stratix vestigingen	ACM vestigingen	Gemiddeld	Percentage
Drenthe	37.000	5.000	5.000	5.000	*14%*
Flevoland	33.000	6.000	6.000	6.000	*18%*
Friesland	53.000	8.000	9.000	8.000	*15%*
Gelderland	172.000	23.000	23.000	23.000	*13%*
Groningen	42.000	5.000	4.000	4.000	*10%*
Limburg	81.000	7.000	6.000	7.000	*9%*
Noord-Brabant	225.000	21.000	20.000	20.000	*9%*
Noord-Holland	295.000	16.000	16.000	16.000	*5%*
Overijssel	87.000	15.000	12.000	13.000	*15%*
Utrecht	125.000	8.000	9.000	8.000	*6%*
Zeeland	30.000	4.000	3.000	3.000	*10%*
Zuid-Holland	299.000	17.000	17.000	17.000	*6%*
Nederland	**1.478.000**	**135.000**	**130.000**	**132.000**	***9%***

Tabel B.3: Per provincie de aantallen adressen (BAG) zonder VDSL, kabel (Docsis 2.0 of hoger) of glasvezel

Provincie	Totaal adressen	Stratix adressen	ACM adressen	Gemiddeld	Percentage
Drenthe	253.000	16.000	16.000	16.000	*6%*
Flevoland	184.000	16.000	13.000	15.000	*8%*
Friesland	348.000	22.000	30.000	26.000	*7%*
Gelderland	1.006.000	59.000	60.000	59.000	*6%*
Groningen	306.000	16.000	16.000	16.000	*5%*
Limburg	585.000	17.000	17.000	17.000	*3%*
Noord-Brabant	1.224.000	44.000	40.000	42.000	*3%*
Noord-Holland	1.492.000	42.000	40.000	41.000	*3%*
Overijssel	565.000	40.000	34.000	37.000	*7%*
Utrecht	619.000	17.000	19.000	18.000	*3%*
Zeeland	230.000	12.000	10.000	11.000	*5%*
Zuid-Holland	1.878.000	41.000	42.000	42.000	*2%*
Nederland	**8.691.000**	**343.000**	**338.000**	**340.000**	***4%***

Annex C Activiteiten mobiele operators LTE

Hieronder is per operator een beknopt overzicht gegeven van de belangrijkste activiteiten op gebied van 4G en op welke wijze de betreffende operator heeft meegewerkt aan dit onderzoek.

KPN activeerde in februari 2013 grootschalig LTE, en in april 2014 claimde KPN als eerste provider landelijke dekking aan te bieden. In eerste instantie heeft KPN zich gericht op een uitrol in de 800 MHz band, waarmee relatief snel dekking te realiseren valt. Recentelijk (augustus 2014) is KPN ook begonnen met uitrol in de 1800 MHz band. KPN heeft meegewerkt aan dit onderzoek door dekkingskaarten aan te leveren op basis van het eigen radioplanningsysteem.

Vodafone activeerde in augustus 2013 het LTE-netwerk in een deel van Nederland, en eind september 2014 claimde Vodafone landelijke dekking. Vodafone heeft direct uitgerold in zowel de 800 MHz als de 1800 MHz band. Vodafone heeft meegewerkt aan dit onderzoek door dekkingskaarten aan te leveren op basis van het eigen radioplanningsysteem.

T-Mobile is in november 2013 begonnen met het aanbieden van LTE-diensten in Amsterdam, Rotterdam, Utrecht en delen van Den Haag. Eind 2014 biedt T-Mobile dekking in de Randstad en een aantal grote gemeenten. T-Mobile verwacht op zijn vroegst eind 2015 landelijke LTE-dekking te kunnen bieden. T-Mobile beschikt niet over frequenties in de 800 MHz band, en rolt in eerste instantie uit in de 1800 MHz band (2x30 MHz). In een later stadium kan T-Mobile de 900 MHz band, nu in gebruik voor GSM, ook voor LTE inzetten. T-Mobile heeft meegewerkt aan dit onderzoek door dekkingskaarten aan te leveren op basis van het eigen radioplanningsysteem.

Tele2 heeft aangekondigd in 2015 te starten met 4G dienstverlening via het eigen netwerk. De dienstverlening gaat in maart 2015 van start in een aansluitend gebied in de Randstad met als doel een jaar later een landelijk dekkend netwerk te hebben. Tele2 beschikt over frequentieruimte in de 800 MHz en de 2600 MHz band. Omdat Tele2 ten tijde van het onderzoek het netwerk nog volop uit aan het rollen was, is in overleg met Tele2 besloten dat het op dit moment geen meerwaarde vormt om ook de Tele2 dekkingsgegevens te gebruiken binnen het onderzoek.

Ziggo (ZUM) beschikt over spectrum in de 2600 MHz band. De uitrol beperkt zich tot op heden tot enkele opstelpunten en is alleen beschikbaar voor zakelijke gebruikers in delen van Oss, Breda en Zwolle. Op dit moment zijn er geen plannen bekend voor verdere uitrol. Ziggo is op de hoogte gesteld van het huidige onderzoek naar LTE-dekking, maar vanwege de zeer beperkte dekking niet benaderd voor het aanleveren van detail-dekkingsgegevens.

Annex D Dekkingsgegevens LTE

Om te bepalen hoe dekkingsgegevens op een uniforme wijze gecombineerd zouden kunnen worden zijn gesprekken met operators gehouden. Hieruit kwam naar voren dat er significante verschillen zijn in de manier waarop de verschillende operators hun (publieke) dekkingsoverzichten samenstellen. De gesprekken hebben geleid tot overeenstemming over een uniforme manier van uitvragen van de dekkingsinformatie. Op basis van deze gesprekken is een aantal dekkingscriteria geformuleerd voor het verzamelen van dekkingsgegevens, waarbij zoveel mogelijk rekening is gehouden met de (technische) mogelijkheden en benodigde inspanningen van de operators. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de operators te vragen een drietal dekkingsoverzichten aan te leveren, waarvan er twee zijn op basis van de (theoretisch) beschikbare downloadcapaciteit en één op basis van signaalsterkte.

Er is gekozen voor downloadcapaciteit, omdat dit in de regel leidend is voor de gebruikerservaring en het dienstenniveau waarop de mobiele netwerken vergeleken kan worden met vaste verbindingen. Ook is downloadcapaciteit een indicator die relatief eenvoudig te begrijpen is voor niet-ingewijden.

Om de beschikbaarheid van een (minimale) LTE-dienst op een objectieve manier in kaart te brengen is signaalsterkte (RSRP) een betere indicator. Deze manier van dekking bepalen geeft echter minder inzicht in het geboden dienstenniveau. De kaarten op basis van signaalsterkte zijn gebruikt om eventuele verschillen in de dekkingsoverzichten tussen de operators te kunnen herkennen en zijn niet opgenomen in deze rapportage.

Dekkingsoverzicht op basis van minimale downloadcapaciteit 5 Mbps en 30 Mbps

Bij dit onderzoek is voor gekozen om drempelwaarden op (piek) downloadcapaciteit te hanteren van respectievelijk 5 Mbps en 30 Mbps downloadsnelheid. De gekozen drempelwaarde van 5 Mbps voor downloadcapaciteit is vastgesteld op basis van het minimale dienstenniveau, waarop LTE nog een mogelijke alternatief kan bieden voor vast in het buitengebied. De gekozen drempelwaarde van 30 Mbps voor downloadcapaciteit is vastgesteld op basis van het minimale dienstenniveau, waarop LTE volgens de definities van de Europese Commissie geclassificeerd kan worden als 'snel breedband'.

Voor het samenstellen van dit dekkingsoverzicht dienden de operators de volgende uitgangspunten/aannames te hanteren:

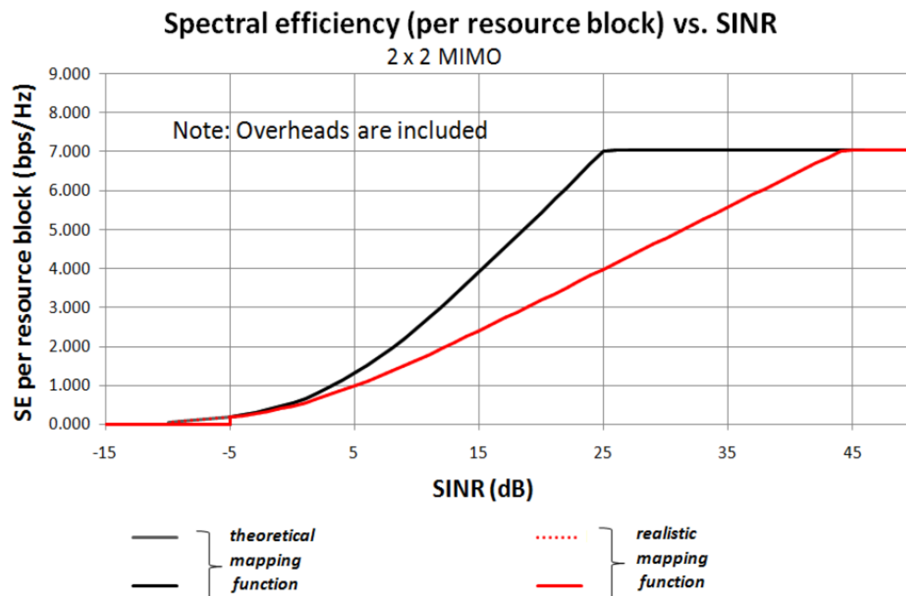
- Drempelwaarde downlink capaciteit van respectievelijk (minimaal) 5 Mbps en (minimaal) 30 Mbps
- Dekkingswaarschijnlijkheid van 95% (tijd en plaats)
- Buitenhuisdekking op straatniveau (aangezien voor een "vaste" internetverbinding een buitenantenne kan worden gebruikt)
- Uitgaande van de huidige verkeersvolumes (cell loads) op het netwerk
- Geldend voor toestellen van (minimaal) LTE categorie 3
- Rx dipool antenne met versterking van 0 dB
- Body loss van 0 dB
- Detailniveau van 100x100 meter of vergelijkbaar

Berekening benodigde signaalsterkte LTE800

In overleg met de operators heeft Stratix voor LTE in de 800 MHz band onafhankelijk vastgesteld op welke wijze de drempelwaarden op downloadcapaciteit vertaald kunnen worden naar signaalsterkte. Deze berekening is deels gebaseerd op de aanpak die de Engelse toezichthouder Ofcom heeft gehanteerd bij de frequentieveiling van de 800MHz en 2,6 GHz banden[57].

De (maximaal) beschikbare downloadsnelheid wordt bij LTE bepaald door de hoeveelheid frequentieruimte en de spectrale efficiëntie (aantal bits/s dat per beschikbare Hz) die gerealiseerd kan worden. In het geval van LTE800 worden er 10 MHz frequentieblokken ingezet door de operators. Hiervan kan 9 MHz effectief worden ingezet, wat betekent dat voor een downloadcapaciteit van 30 Mbps een spectrale efficiëntie van (30 Mpbs / 9 Mhz=) 3,3 bps/Hz vereist is. Op eenzelfde manier kan worden berekend dat voor een downloadcapaciteit van 5 Mbps een spectrale efficiëntie vereist van (5 Mpbs / 9 Mhz=) 0,56 bps/Hz.

Op basis van de door Ofcom gehanteerde 'realistische' functie[58] tussen signaal-ruisverhouding (SINR) en spectrale efficiëntie kan worden bepaalde welke SINR vereist is voor de genoemde drempels op spectrale efficiëntie. Hieruit blijkt dat er een SINR van 1 dB vereist is voor 5 Mbps downloadcapaciteit en een SINR van 21 dB voor 30 Mbps downloadcapaciteit (zie Figuur D.1.).



Figuur D.1: Realistische en theoretische relatie tussen SINR en spectrale efficientie[57]

[57] "Annex 14–LTE modelling revised methodology", Ofcom as part of 800MHz and 2.6GHz Combined award - Technical modelling for competition assessment, January 2012

[58] De 'realistische' functie tussen SINR en spectrale efficiëntie komt volgens Ofcom het beste overeen met wat in de praktijk wordt gemeten bij huidige implementatie van LTE.

De signaal-ruisverhouding (SINR) kan onder een aantal modelaannames worden omgerekend tot een drempel op signaalsterkte (RSRP). Hiervoor is een methode gehanteerd die is beschreven door Holma en Toskala[59]. De berekening en het resultaat ervan worden getoond in Tabel D.1. Uit deze tabel is op te maken dat een (maximale) downloadcapaciteit van 5 Mbps een drempel op de signaalsterkte vereist -107 dBm. Een (maximale) downloadcapaciteit van 30 Mbps vereist een drempelwaarde op signaalsterkte van -87 dBm.

Tabel D.1: Berekening van de signaalsterkte (RSRP) op basis van signaal-ruisverhouding

			5 Mbps (SINR = -1 dB)	30 Mbps (SINR = 21 dB)
a	Enode B (dBm)	2x 43 dB	46	46
b	TX antenna gain (dBi)		17	17
c	cable loss (dB)		2	2
d	EIRP (dBm)		61	61
e	UE noise figure (dB)		7	7
f	Thermal noise (dBm)	k x T x bandwidth (9 MHz)	-104,5	-104,5
g	receiver noise floor (dBm)	e + f	-97,5	-97,5
h	**Required SINR (dB)**		**1**	**21**
i	Receiver sensitivity (dBm)	g + h	-96,5	-76,5
j	Interference margin (dB)		4	4
k	Control channel overhead (dB)		0	0
l	RX antenna gain (dBi)		0	0
m	Body Loss (dB)		0	0
n	fading margin (dB)	95% coverage probability	13	13
o	**path loss @ 95%**	**d – i – j – k + l - m**	**140,5**	**120,5**
p	RS power per RE (dBm)	d – 10* log (NRB *12)	33	33
q	**RSRP**	**p - o**	**-107**	**-87**

[59] Bron: H.Holma & A.Toskala, "LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access", John Wiley & Sons, 2009

Annex E Theoretische datasnelheden LTE

De (theoretisch) maximale datasnelheden die met LTE kunnen worden geboden zijn voornamelijk afhankelijk van de beschikbare frequentieruimte die wordt ingezet. Daarbij is ook van belang welke technische mogelijkheden er binnen het systeem zijn om deze frequentieruimte zo efficiënt mogelijk te benutten (o.a. MIMO en modulatietechnieken).

Hieronder wordt nader toegelicht op welke wijze de maximale downlink capaciteit binnen een LTE-sector kan worden berekend.

Calculatie maximale downlink capaciteit LTE

LTE maakt in de downlink gebruik van de modulatietechniek OFDMA. Hierbij wordt de beschikbare frequentieruimte (channel bandwidth) opgedeeld in een aantal frequentiekanalen (subcarriers). De afstand tussen deze subcarriers moet 15kHz zijn en 10% van de subcarriers wordt niet gemoduleerd (guard carriers). Op basis van deze informatie kan worden bepaald hoeveel subcarriers er passen in de beschikbare frequentieruimte. In het geval van In het geval van 10 Mhz is dit 90% x(10.000/15) = 600 subcarriers. In onderstaand tabel zijn o.a. de aantallen subcarriers voor alle mogelijk bandbreedtes gegeven.

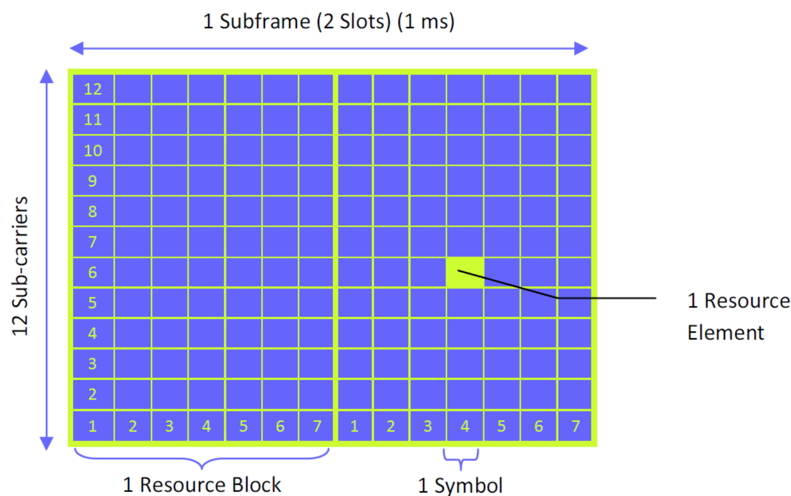
Channel bandwidth	**1,25 MHz**	**2,5 MHz**	**5 MHz**	**10 MHz**	**20 MHz**
Aantal resource blocks	6	13	25	50	100
Aantal subcarriers	72	156	300	600	1200

De kleinste eenheid die bij LTE aan een gebruiker toegewezen kan worden is een resource block. Een resource block bestaat uit 12 subcarriers voor de tijdsduur van één slot van 0,5 ms. Het kleinste element waaruit de resource blocks bestaan is een resource element, dit is een enkele subcarrier voor de tijdsduur van één ODFM symbool interval, waarvan er 7 in een slot passen. Dit betekent dat een resource block bestaat uit 7 x 12 = 84 resource elementen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur E.1.

De resource elementen (symbolen) kunnen met verschillende modulatievormen worden uitgezonden, waarbij elke modulatievorm zijn eigen 'bitdichtheid' heeft. Aannemende dat de hoogste modulatievorm (64-QAM) wordt uitonderhandeld bevat elk symbool theoretisch 6 bits.

Op basis van de bovenstaande informatie kan worden berekend wat de maximale (downlink) capaciteit is. Dit betreft in geval van 10 MHz channel bandwidth:

50 PRB x 12 subrarriers x 7 symbolen x 2 slots x 6 bits = 50400 bits/ms = 50,4 Mbps



Figuur E.1 Schematische overzicht van indeling resource blocks en resource elementen[60]

Hierin moet echter nog een overhead worden meegenomen van ongeveer 25% voor controle en signalering. Daarnaast gaan in werkelijkheid zelfs bij de hoogste signaalkwaliteit en modulatievorm er nog bits verloren. In plaats van 6 bits/symbool wordt in de praktijk maximaal 5,55 bits per symbool gehaald. We komen in dat geval op:

50 PRB x 12 subrarriers x 7 symbolen x 2 slots x 5,55 bits x (1-25%) = 34,96 Mbps

Deze capaciteit geldt voor een enkelvoudig signaal. In het geval dat er 2x2 MIMO mogelijk is wordt deze capaciteit tweemaal zo hoog, namelijk 69,9 Mbps.

Op een vergelijkbare manier kan ook de capaciteit voor de uplink worden berekend. Hierbij dient er wel rekening gehouden te worden dat de huidige gebruikersapparaten maximaal SIMO met modulatievorm van 16-QAM ondersteunen in de uplink. 64-QAM wordt enkel ondersteund door apparaten van LTE UE categorie 5 of hoger.

3GPP opzoektabellen

De bovenstaande berekening kan worden uitgevoerd onder verschillende aannames en ingangswaarden (o.a. aantal beschikbare resource blocks en modulatievorm). Om snel waarden te kunnen achterhalen zijn er opzoektabellen opgesteld die de resultaten bevatten van accurate berekeningen. Deze zijn beschikbaar 3GPP document 36.213 (tabel 7.1.7.1-1, tabel 7.1.7.2.1-1 en tabel 7.1.7.2.2-1).

Met behulp van deze tabellen is het onderstaande overzicht samengesteld van de maximale (theoretische) datasnelheden voor een aantal gangbare frequentieruimtes en MIMO mogelijkheden.

[60] Bron: Telesystem Innovations Inc. 2010. LTE in a Nutshell: The Physical Layer, http://www.tsiwireless.com/docs/whitepapers/LTE%20in%20a%20Nutshell%20-%20Physical%20Layer.pdf

Tabel E.1: Overzicht theoretisch maximale datasnelheden op basis van 3GPP opzoektabellen

Frequentieruimte	Downlink			Uplink	
	1x1 MIMO	2x2 MIMO	4x4 MIMO	1x2 MIMO 16QAM	1x2 MIMO 64QAM
5 MHz	18 Mbps	37 Mbps	73 Mbps	11 Mbps	18 Mbps
10 Mhz	37 Mbps	73 Mbps	147 Mbps	23 Mbps	37 Mbps
20 MHz	75 Mbps	151 Mbps	302 Mbps	51 Mbps	75 Mbps

Daadwerkelijk behaalde datasnelheden

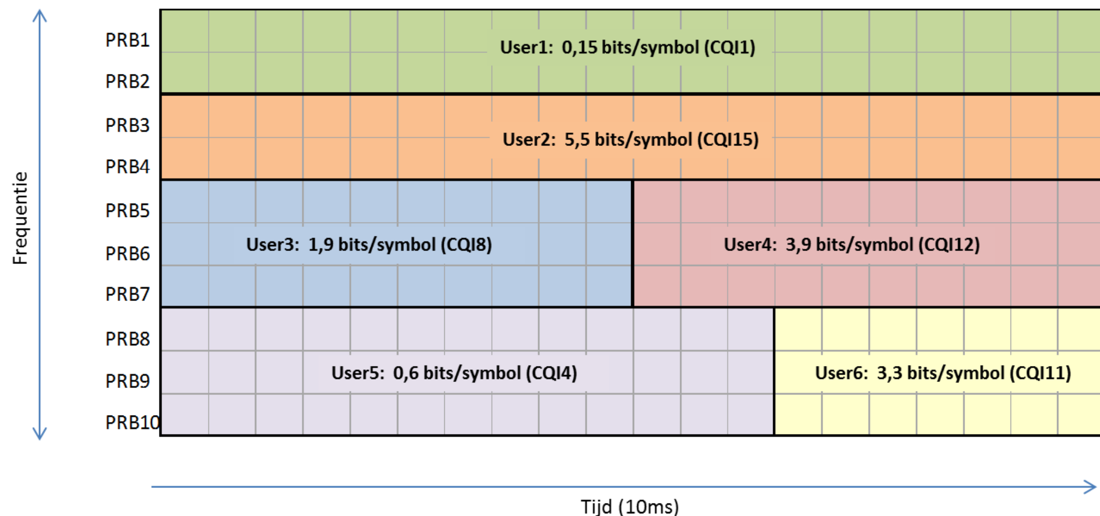
De theoretische maximale capaciteit geeft een indicatie van de datasnelheden die mogelijk zijn in een ideale situatie. De datasnelheid die daadwerkelijk door een gebruiker wordt ervaren is echter ook sterk afhankelijk van zaken zoals de signaalkwaliteit en de aanwezigheid van concurrerend verkeer.

Signaalkwaliteit en modulatie

Tijdens de dataoverdracht is er sprake van redelijk intensieve interactie ('hand shake') tussen het gebruikerstoestel en de onderhavige LTE-zendmast. Afhankelijk van de waargenomen signaalkwaliteit onderhandelt het gebruikerstoestel een modulatievorm met de LTE-zendmast uit. De verschillende modulatievormen bieden verschillende efficiëntie, d.w.z. de hoeveelheid data (bits) die per minimale eenheid (symbool) getransporteerd kan worden. Algemeen kan worden gesteld dat meer efficiënte modulatievormen een hogere signaalkwaliteit vereisen.

Capaciteitsverdeling bij concurrerend verkeer

Bij LTE wordt de beschikbare frequentieruimte onderverdeeld in 'resource blocks'. Een resourceblok bezet 180kHz frequentieruimte voor 0,5 milliseconde en kan slechts eenmaal worden toegewezen aan een gebruiker. Bij 10 MHz bandbreedte zijn er in de praktijk in totaal 50 van deze blokken tegelijkertijd te vergeven. De modulatievorm bepaalt hoeveel informatie er per resource block verstuurd kan worden. Dit betekent dat wanneer een gebruiker een slechte signaalkwaliteit heeft en daardoor een inefficiënte modulatievorm ervaart, deze gebruiker de potentie van het resource block niet maximaal zal benutten. Een gebruiker die wel een goede signaalkwaliteit heeft, kan met dezelfde hoeveelheid resource blocks tot zijn beschikking veel hogere datasnelheden behalen. Hiervan is een voorbeeld schematisch weergegeven Figuur E.2. Hierin is zichtbaar dat bijvoorbeeld User1 en User2 evenveel resource blocks tot hun beschikking hebben, maar een datasnelheid ervaren die een factor 37 verschilt.



Figuur E.2: Illustratieve weergave verdeling resource blocks met verschillende modulatie

Naast dat het inefficiënte gebruik van resource blocks ervoor zorgt dat de betreffende gebruiker lage datasnelheden ervaart, betekent dit ook dat de totale (theoretische) capaciteit van de sector niet maximaal wordt benut en de effectieve capaciteit van de sector hierdoor eigenlijk afneemt. Indien er veel gebruikers met slechte signaalkwaliteit op een sector actief zijn, kan dit betekenen dat de effectieve capaciteit op die sector nog maar een fractie is van de theoretische capaciteit.

Overigens worden resource blocks in de praktijk wordt niet noodzakelijk gelijk verdeeld over alle gebruikers, wanneer deze geen gelijke radiocondities ervaren. Er bestaan verschillende algoritmes om capaciteit te verdelen over de verschillende gebruikers. Sommige algoritmes hebben als doel een gelijke verdeling van de capaciteit over gebruikers te bewerkstelligen, maar er zijn ook algoritmes die de totale datasnelheid over alle klanten maximaliseren.

Voor het voorbeeld in de figuur kan worden berekend dat er over de getoonde resource block een gemiddelde channel efficiency is gehaald van 2,5 bits/symbool, waar 5,5 bits/symbool mogelijk is bij de hoogste modulatie.

Annex F Aanvulling steekproef buitengebied

Agentschap Telecom heeft, in samenwerking met Stratix, veldmetingen verricht met LTE op een beperkt aantal locaties in het buitengebied waar geen snel vast internet beschikbaar is. Deze Annex bevat aanvullende informatie over de meetopstelling en meetmethode die hierbij is gehanteerd en toont een aantal meetresultaten die niet in de hoofdtekst zijn opgenomen.

Meetopstelling

Abonnementen

Om zeker te stellen dat de steekproef met representatieve abonnementen werd uitgevoerd zijn via een tussenpersoon bij elke provider via de normale verkoopkanalen een aantal data-abonnementen afgesloten met voldoende datacapaciteit (datacap).

Dongles

Er is gebruik gemaakt van twee LTE-'dongles' van Huawei[61], waarbij de keuze werd bepaald door de verkrijgbaarheid, prijs en de mogelijkheid om deze dongles met het meetprogramma te kunnen gebruiken[62]. De dongles werden op het dashboard van een meetwagen van Agentschap Telecom (middenklasse personenauto) geplaatst en verbonden met de meetcomputer.

Router

Daarnaast werd er een Huawei LTE-router gebruikt[63]. De keuze voor dit apparaat werd bepaald doordat deze in Duitsland wordt gebruikt bij de inzet van LTE als alternatief voor vaste verbindingen in buitengebieden. Hierbij waren ook de laagdrempelige verkrijgbaarheid en de aanwezigheid van externe antenneaansluitingen van belang. De router werd op dezelfde manier ingezet als het geval zou zijn wanneer een gebruiker deze zou hebben aangeschaft als vervanging van zijn ADSL modem.

Ten tijde van uitvoering van de steekproef was er voor de meetsoftware (Romes) geen driver beschikbaar voor de router. Om toch meetresultaten te verkrijgen zijn er met de router metingen verricht via het openbare meetplatform van Speedtest.net.

Metingen met een externe richtantenne

Er is ook een steekproefmeting uitgevoerd met een richtantenne. Om dit mogelijk te maken is speciaal voor dit onderzoek een richtantenne ontworpen en gebouwd, waarmee eerdere metingen op meetlocatie A zijn herhaald. Deze antenne betrof een 800 MHz kruisyagi welke ca. 1.60m boven de grond werd gemonteerd. Om het verschil tussen de richtantenne en de ingebouwde antennes van de apparatuur inzichtelijk te maken is er per apparaat gemeten zowel met als zonder de richtantenne.

[61] De gebruikte dongle was van het type Huawei E398u-15 LTE USB Modem
[62] Voor veel randapparatuur bestonden ten tijde van dit onderzoek nog geen drivers voor het door Agentschap Telecom gebruikte meetprogramma (Romes)
[63] De gebruikte router was van het type Huawei LTE 100M Wireless Gateway B890-75



Figuur F.1: Meetopstelling richtantenne op één van de meetlocaties

Selectie Meetlocaties

Op basis van de dekkingsanalyse uit hoofdstuk 2 is een aantal (buiten)gebieden in Nederland geselecteerd waar geen snel vast internet beschikbaar is[64], maar wel sprake is van LTE-buitenhuisdekking. In deze gebieden zijn metingen uitgevoerd op locaties die relatief ver verwijderd waren van zendmasten (typisch 2 tot 4 kilometers vanaf de mast). Hiermee geeft de steekproef een indicatie van het minimale dienstenniveau dat op het meetmoment daadwerkelijk kon worden gerealiseerd in de betreffende buitengebieden. In Figuur F.2 zijn de meetlocaties weergegeven.

Bij een aantal meetlocaties zijn (ijk)metingen uitgevoerd op zeer korte afstand (enkele honderden meters) van de zendmast. Deze metingen dienden om te bepalen wat de maximale (download)capaciteit was die (op de gegeven locatie) kon worden gemeten met de meetopstelling.

Daarnaast zijn er bij de metingen met de richtantenne ook een aantal extra metingen uitgevoerd om inzicht te krijgen in hoeverre de afstand tot een basis station van invloed was op de snelheden. Hierbij is gekozen voor een meetlocatie (G) die dichter bij dezelfde zendmast lag dan de oorspronkelijke meetlocatie (A) en een meetlocatie (H) waar de dekking relatief slecht was, op grote afstand van de dichtstbijzijnde zendmast (ca. 6 km).

[64] In het bijzonder is gezocht naar gebieden waar veel adressen beschikken over gebrekkig vast internet, d.w.z. een (ADSL) verbinding met minder dan 5Mbps downloadcapaciteit



Figuur F.2: Meetlocaties steekproef

Gemeten parameters

Om de kwaliteit en snelheid van de dataverbinding te onderzoeken zijn downloadsnelheid, uploadsnelheid en latency ('ping') gemeten. De meetmethode van deze parameters wordt hieronder toegelicht. Daarnaast rapporteerde de meetsoftware ook een aantal (relevante) parameters met betrekking tot de radioverbinding en signaalkwaliteit, zoals de signaalsterkte (RSRP, RSSI, RSRQ), signaal-ruisverhouding (SINR) en modulatieschema's (MCS, CQI).

Down en uploadsnelheid

Downloadsnelheden voor de dongles werden bepaald door vier bestanden van gelijke grootte (50 MB per stuk) met behulp van parallelle FTP-sessies ('multi-thread)' te downloaden[65]. Uploadsnelheden werden bepaald door vier bestanden van ca. 15 MB parallel ('multi-thread') te uploaden. Snelheden werden zowel met een enkele dongle als met twee dongles tegelijkertijd bepaald om twee gebruikers te simuleren. De bestanden hadden een speciale

[65] Het aantal en de grootte van de bestanden is zodanig gekozen dat de down –of upload voldoende lang duurt voor een geldige meting

indeling waardoor deze niet gecomprimeerd konden worden. Gezien het verschil (in snelheden) tussen FTP en HTTP in een multi-thread situatie kan de keuze voor FTP meer als 'worst case' worden beschouwd.

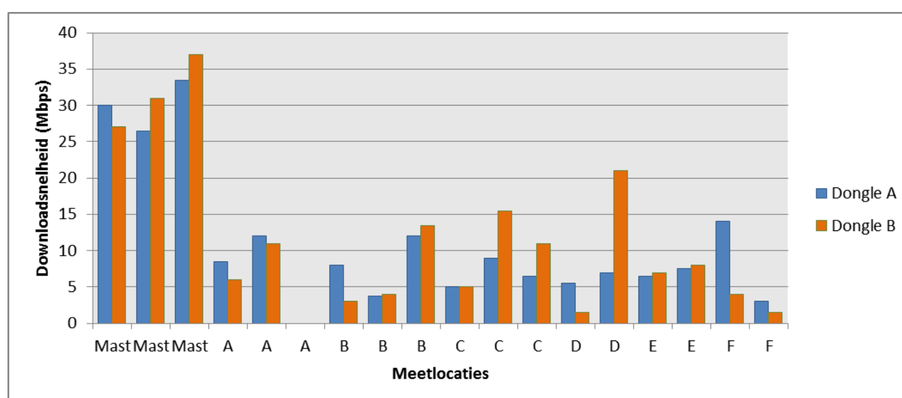
Download en upload snelheden voor de router zijn bepaald door gebruik te maken van Speedtest.net. Speedtest.net maakt gebruik van een multi-thread HTTP download (maximaal 4 threads) om de verbinding zo volledig mogelijk te benutten.

Latency (netwerkvertraging)

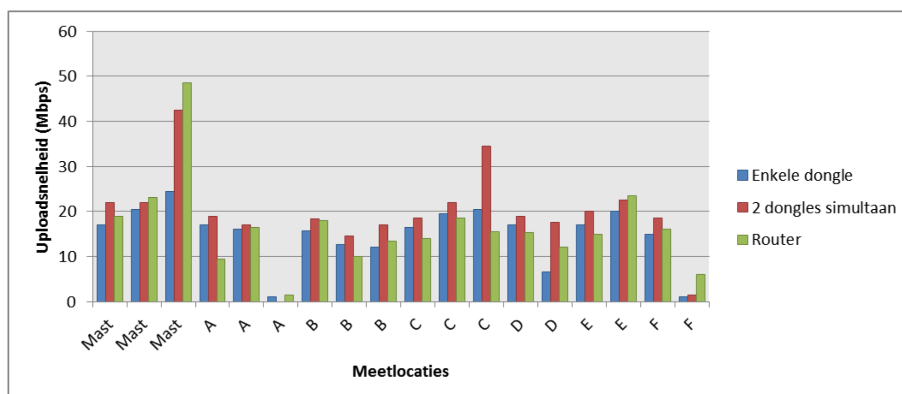
Latency[66] werd bepaald door te 'pingen' naar een server dicht bij de Amsterdam Internet Exchange (AMS-IX) en gemiddelden van deze pingtijden te nemen.

Aanvullende meetresultaten

Hieronder worden een aantal meetresultaten van de steekproef gepresenteerd die niet zijn opgenomen in de hoofdtekst.

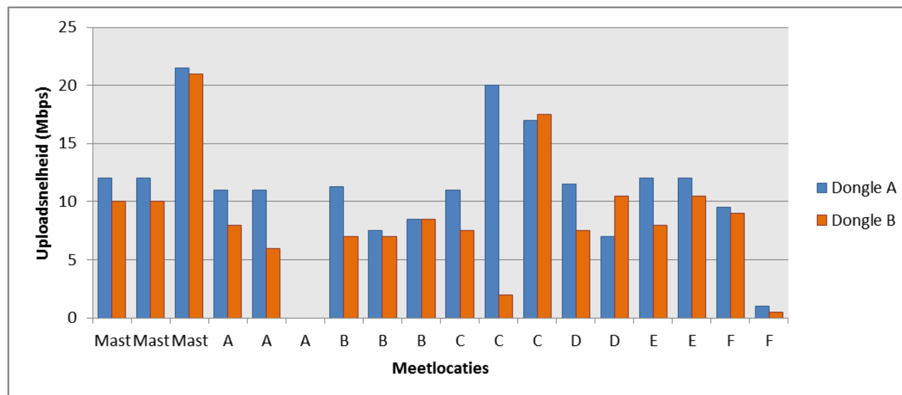


Figuur F.3: Downloadsnelheid per dongle bij simultane downloads met twee dongles

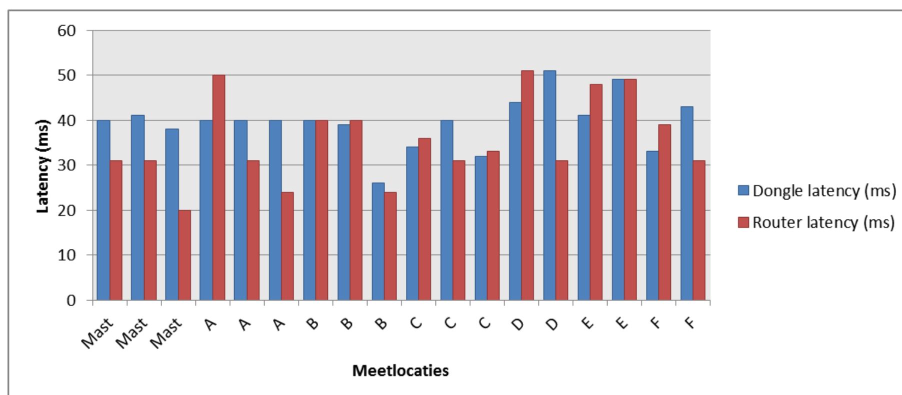


Figuur F.4: Resultaten uploadmetingen steekproef

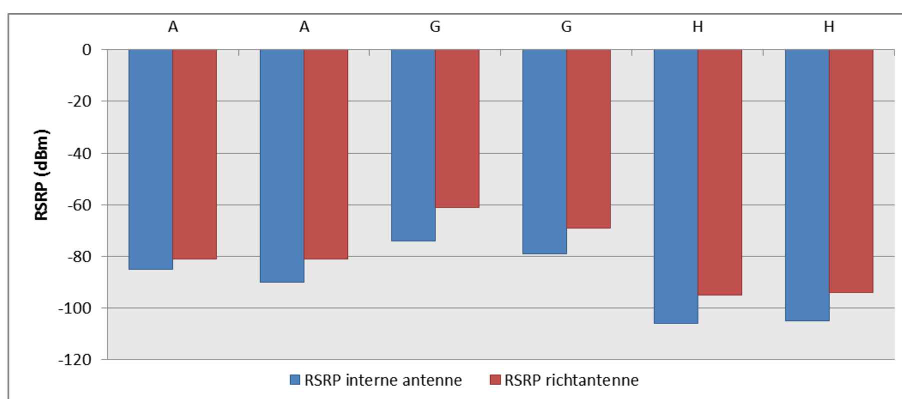
66 Voor sommige toepassingen is het van belang om naast de latency ook de variatie ('jitter') te bepalen.



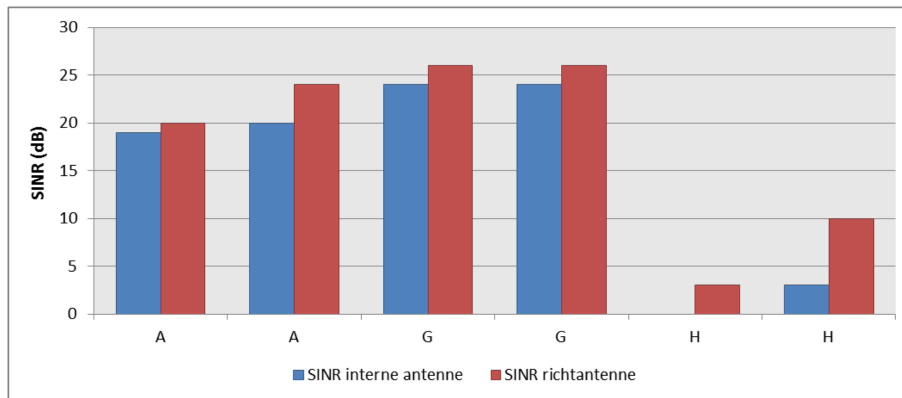
Figuur F.5: Uploadsnelheid per dongle bij simultane downloads met twee dongles



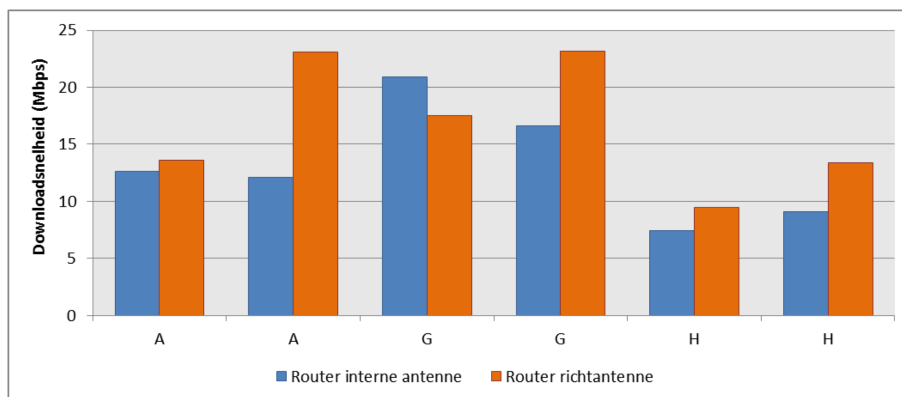
Figuur F.6: Gemeten latency voor verschillende meetlocaties en operators.



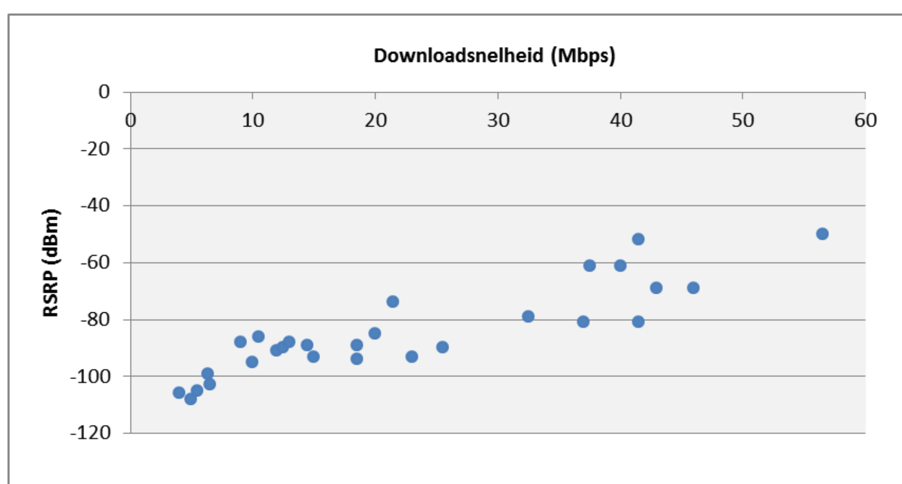
Figuur F.7: Verschil in signaalsterkte (RSRP) met en zonder richtantenne



Figuur F.8: Verschil in signaal-ruisverhouding (SINR) met en zonder richtantenne



Figuur F.9: Uploadsnelheden externe richtantenne versus interne antennes



Figuur F.10: Strooidiagram van signaalsterkte (RSRP) en downloadsnelheid in 800 MHz band

Annex G Analyse verkeersvolumes

In deze Annex wordt ingegaan op de ranges in verkeersniveau en verkeersvolume op vaste netten zoals deze resulteren uit opgaven van providers.

Providers bieden een palet van verschillende snelheden aan. Echter in veel gevallen worden er één of twee snelheden (veelal niet de snelste en niet de langzaamste) op grote schaal afgenomen: de massa dienst is voor iedere provider geïdentificeerd.

Om verkeersvolumes op vast internet te bepalen kan naar algemene verkeersprofielen en (meet)informatie van (vaste) ISPs worden gekeken. Verschillende ('vaste') ISP's zijn benaderd door middel van interviews en schriftelijk contact. Hieruit kwam het volgende naar voren:

Tabel G.1: Bandbreedte - Onderliggende data vaste piek en gemiddelde verkeersniveaus ISPs

					Bandbreedte in kbit/s			
					up		down	
Provider	technologie	massa dienst	up:down	datum	piek	gem	piek	gem.
SKV (Veendam)	Glas/coax	25/25	1:1	23-okt-13	67	37	151	108
	Glas/coax	25/25	1:1	15-feb-14	89	45	260	133
	Glas/coax	35/35	1:1	wkdg nov/dec-14	98	48	405	196
	Glas/coax	35/35	1:1	zat nov/dec-14	111	60	417	235
	Glas/coax	35/35	1:1	zon nov/dec-14	121	67	437	248
[kabel ISP]	Coax	25/3	1:8	nov-13	40	20	254	112
	Coax	25/3	1:8	dec-13	43	22	279	117
	Coax	25/3	1:8	jan-14	44	21	275	116
	Coax	25/3	1:8	feb-14	46	25	281	141
	Coax	25/3	1:8	mrt-14	41	22	281	112
[kabel ISP]	Glas	100/100	1:1	nov-13	255	127	607	245
	Glas	100/100	1:1	dec-13	250	134	696	355
	Glas	100/100	1:1	jan-14	237	111	726	333
	Glas	100/100	1:1	feb-14	259	138	767	417
	Glas	100/100	1:1	mrt-14	221	118	652	323
	Glas	100/100	1:1	okt-14	286	140	899	388
Solcon	Glas	100/100	1:1	nov-14	300-350	150-175	1000	500
	xDSL	25/3	1:8	nov-14	40-50	20-25	250-290	110-140
DenHorn Online	Ether (5GHz)	20/20	1:1	nov-14	69	12	491	145
Greenet	Ether (LTE/5GHz)	30/15	1:2	nov-14				

Tabel G.2: Verkeersvolumes - onderliggende data vaste verkeersvolumes voor ISPs

Provider	technologie	up:down	datum	Dagvolume in GB up	Dagvolume in GB down	Dagvolume in GB totaal	Maandvolume in GB up	Maandvolume in GB down	Maandvolume in GB totaal
SKV (Veendam)	Glas/coax	1:1	23-okt-13	0,40	1,2	1,6	12,4	36	49
	Glas/coax	1:1	15-feb-14	0,48	1,4	1,9	13,5	40	54
	Glas/coax	1:1	wkdg nov/dec-14	0,51	2,1	2,6			
	Glas/coax	1:1	zat nov/dec-14	0,65	2,5	3,2	17	69	86
	Glas/coax	1:1	zon nov/dec-14	0,73	2,7	3,4			
[kabel ISP]	Coax	1:8	nov-13	0,22	1,2	1,4	6,5	36	43
	Coax	1:8	dec-13	0,24	1,3	1,5	7,4	39	47
	Coax	1:8	jan-14	0,23	1,3	1,5	7,0	39	46
	Coax	1:8	feb-14	0,27	1,5	1,8	7,6	43	50
	Coax	1:8	mrt-14	0,24	1,2	1,4	7,4	37	45
[kabel ISP]	Glas	1:1	nov-13	1,37	2,6	4,0	41	79	121
	Glas	1:1	dec-13	1,45	3,8	5,3	45	119	164
	Glas	1:1	jan-14	1,20	3,6	4,8	37	111	149
	Glas	1:1	feb-14	1,49	4,5	6,0	42	126	168
	Glas	1:1	mrt-14	1,27	3,5	4,8	40	108	148
	Glas	1:1	okt-14	1,51	4,2	5,7	47	130	177
Solcon	Glas	1:1	nov-14	1,62-1,89	5,4	7,0-7,3	50-59	162	218-226
	xDSL	1:8	nov-14	0,22-0,27	1,2-1,5	1,4-1,8	6,6-8,2	36-45	42-54
DenHorn Online	Ether (5GHz)	1:1	nov-14	0,133	1,6	1,7	4,0	47	51
Greenet	Ether (LTE/5GHz)	1:2	nov-14			7-8			220-250
ACM mobiel BB	Ether (2G/3G/4G)	1:2-1:3	dec-13			0,010			0,318
	Ether (2G/3G/4G)	1:2-1:3	mrt-14			0,012			0,349
	Ether (2G/3G/4G)	1:2-1:3	jun-14			0,014			0,420

Samengevat leidt tot de volgende schattingen over verkeersniveaus en volumes:

Tabel G.3: Samenvatting piekverkeersniveaus en verkeersvolumes per maand voor vaste ISPs

Gem. aangeboden downloadsnelheid	Techniek	Aanbod up:down	Piekverkeer up kbit/s	Piekverkeer down kbit/s	Maandelijks verkeer up GB	Maandelijks verkeer down GB	Maandelijks verkeer totaal GB
< 30 Mbps	xDSL	1:8	40-50	250-290	6,6-8,2	36-45	42-54
	Coax	1:8	40-46	254-281	6,5-7,6	36-43	43-50
	Coax-glas	1:1	67-89	151-260	12-13	36-40	49-54
	Radio	1:1	69	491	4,0	47	51
≥ 30 Mbps	Coax-glas	1:1	98-121	405-437	17	69	86
	Coax	1:10					
	Radio	1:2					220-250
≥ 100 Mbps	Glas 1	1:1	221-286	607-899	37-45	79-126	121-168
	Glas 2	1:1	300-350	1000	50-59	162	218-226

Aangeboden abonnementssnelheden

Er blijkt een duidelijk correlatie tussen gebruik en aangeboden snelheden. Er zijn diverse aanbieders met vaste breedband aanbiedingen met hun meest gekochte dienst ≥ 30 Mbps en zelfs ≥ 100 Mbps. Bij deze snelste groep aanbieders ligt het piekverkeer per gebruiker en ook het verkeersvolume fors hoger (een factor 6 à 7).

Vaste ISPs waar voor het overgrote deel van de klanten qua aangeboden downloadsnelheid het niveau onder de 30 Mbps ligt, ervaren ruwweg vergelijkbare verkeersvolumes en per klant gemiddeld piekverkeer. Bij aanbieders met hogere maximale up- en downloadsnelheden liggen de snelheden en verkeersvolumes beduidend hoger (1 Mbps per gebruiker in de piekuren is nu een dimensioneringsparameter). Illustratief is dat Kabelnet Veendam op 22 november de down- en uploadsnelheden verhoogde met resp. 40% of 50% voor meer dan driekwart van de gebruikers, en dat dat direct zichtbaar werd in zowel een hoger piekverkeersniveau als volumegroei.

Symmetrie

Diverse vaste symmetrische aanbieders (Veendam, glaspartijen) zien meer upstreamverkeer dan bij asymmetrisch aanbod. Den Horn Online heeft echter een symmetrisch aanbod qua snelheden, maar juist relatief weinig uploadverkeerspieken. De gemiddelde verhouding is bij asymmetrisch aanbod qua verkeer 1:6, terwijl de snelheden 1:8 zijn. Dat suggereert een licht drukkend effect van lage upstreamsnelheid. Bij de symmetrische aanbieders ligt de verkeersverhouding voor de pieken en gemiddeldes op 1:3 à 1:4. LTE met een typische symmetrie verhouding van 1:2 zal voor wat betreft de behoefte aan meer symmetrie in verkeer om vlotter te kunnen uploaden afdoende zijn.

Vaste vs mobiele verkeersvolumes

De verkeersvolumes over de vaste breedbandaansluitingen liggen aanzienlijk hoger dan men gewend is bij mobiele netwerken, ruwweg in de orde tussen enkele tientallen en een factor 100. Een reden hiervoor is dat veel mensen waar mogelijk Wi-FI gebruiken op hun smartphone (vanwege onder meer de datacaps), en dat veel smartphones en tablets voor de zware downloads (bijvoorbeeld updates) wachten tot het toestel overschakelt op Wi-Fi.

Als LTE als ‘vast’ alternatief wordt gezien, dan zal dus ook met grotere verkeersvolumes dan gewend bij mobiel gebruik te maken krijgen.

Aanbieders

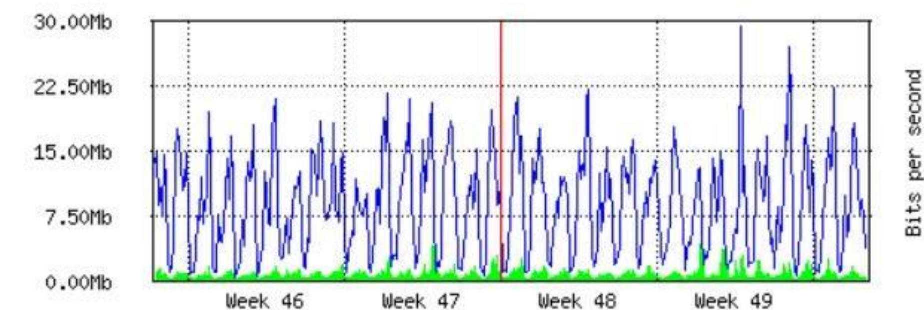
De kabel ISP die gegevens leverde per maand van november 2013 tot maart 2014 vertoonde een opvallende volumesprong in februari. De mogelijke verklaring is de release van Netflix’ zelf geproduceerde TV-serie "House of Cards” in februari 2014, die gepaard ging met een forse wervingscampagne met één maand gratis proefabonnement. Netflix geeft alle afleveringen in één keer vrij, wat een gedragspatroon bevordert dat bekend staat als “Binge Viewing” (alle afleveringen kort achter elkaar bekijken). In maart 2014 was het verkeerseffect weg.

SKV Veendam heeft op 22 november 2014 de snelheden van 25 en 50 Mbps naar respectievelijk 35 en 75 Mbps verhoogd. 75% van hun klanten heeft het 35 Mbps pakket. Hun verkeersniveaus zijn vanaf 27 november gemeten, toen het initiële effect van “uitproberen” van de verhoogde snelheid gedurende de eerste dagen was weggeëbd.

De kabel ISP evenals Solcon met xDSL biedt over de coax asymmetrische snelheden aan 1,5/15, 3/25 en 4/50 Mbps aan en op glasvezel 100, 200 en 400 Mbps symmetrisch aan. Solcon biedt op glasvezel alleen 100 Mbps symmetrisch aan.

Den Horn Online is een kleine partij, ten westen van Groningen, die radioverbindingen (punt-multipunt straal) aanbiedt naar 60 aansluitingen in hun buitengebied. De verkeersvolumes zijn berekend vanuit hun maandverkeersmetingen. Men meet met 2 uurs-gemiddelden wat tot een onderschatting kan leiden van de echte verkeerspieken.

Maandverkeersgrafiek Den Horn Online



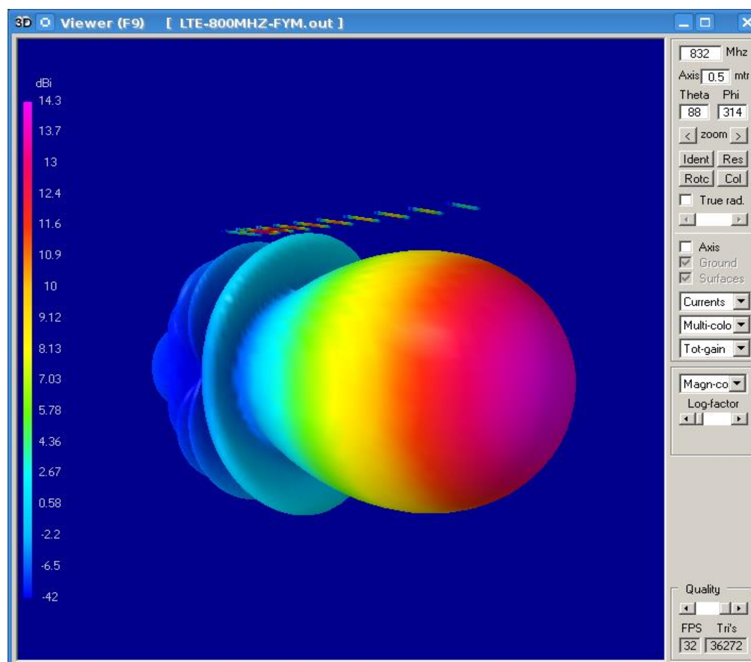
Stratix

Annex H Externe antennes voor LTE-gebruik

Voor ons experiment werd een zgn. kruisyagi voor de 800 MHz LTE-band gemodelleerd en gebouwd.

Een kruisyagi bestaat uit twee zgn. Yagi-antennes die in de lengterichting loodrecht op elkaar staan zodat de onderlinge (lineaire) polarisatie van elektromagnetische energie 90° verschilt. Hierdoor kan in de praktijk 100 – 1000x (20 – 30 dB) signaalverschil ('isolatie') worden gerealiseerd. Er zijn ook andere antennevormen mogelijk zoals zgn. biquads of logperiodische antennes. De laatste antennes kunnen zo ontworpen zijn dat ze voor meerdere en verschillende LTE-banden gebruikt kunnen worden.

Er is gekozen voor een 'single band' Yagi omdat een dergelijke antenne met goedkope materialen eenvoudig te bouwen is en, indien nodig, er voor een specifieke frequentieband relatief makkelijk meer antennewinst (gain) te behalen is. Daarbij zal een potentiële gebruiker in een 'buiten gebied' een keuze maken voor een provider ('abonnement') waardoor hij (ongemerkt) een frequentiekeuze maakt. Omdat de keuze op een 800 MHz Yagi viel, konden niet alle huidige LTE-aanbieders met Yagi gemeten worden, maar wat voor 800 MHz-antennes geldt, geldt ook voor 1800 MHz. Het doel van dit antenne-experiment was een 'proof of concept'.



Figuur H.1: Berekend 832 MHz stralingspatroon van de Yagi in free space. Gain is ca. 13.6 +/- 0.7 dBi tussen 791 – 862 MHz

De twee gekruiste 800 MHz Yagi's hadden ten opzichte van elkaar een bepaalde afstand ('offset'). Hiermee werd beoogd om naast een polarisatieverschil ook een looptijdverschil ('faseverschil') te realiseren in de verwachting dat hiermee de twee ontvangers in de dongles en 4G-router beter in staat zouden zijn om de twee zenders ('polarisaties') in de 800MHz-

LTE-mast te onderscheiden en hiermee MIMO te faciliteren. Het faseverschil kan overigens ook met verschillende antennekabellengtes geschieden.

De keuze voor een kruisyagi was ook gebaseerd op de aanname dat, in tegenstelling tot dicht bevolkte en bebouwde gebieden, er in het buitengebied minder mate sprake zou zijn van reflecties en/of multipath van de LTE-signalen. Anders gesteld, het benodigde onderscheid voor MIMO komt in de buitengebieden naar verwachting niet van reflecties en/of multipathsignalen. Het onderscheid tussen de verschillende polarisaties/LTE-zenders in dezelfde mast dient dus door de antenne zelf gefaciliteerd te worden.

De kruisyagi werd zo gemonteerd dat er sprake was van +45°-polarisatie voor de ene ontvanger en -45°-polarisatie voor de andere ontvanger omdat LTE-masten met deze polarisatiehoeken werken. Figuur H.1 toont het berekende stralingspatroon en de berekende antennewinst van de Yagi in de zgn. vrije ruimte ('free space').

Van de kruisyagi werd voor elke Yagi de zgn. 'return loss' gemeten. Figuur H.2 toont de meetresultaten van een van de Yagi's. De andere Yagi had vergelijkbare resultaten.



Figuur H.2: Gemeten return loss (dB) tussen 700 – 900 MHz van de gebouwde Yagi



Figuur H.3: 2 x 11 element kruisyagi voor 800 MHz LTE, opgesteld bij een meetlocatie. Lengte antennekabels 2 x ca. 2m H155. (Foto: R. den Besten)



Figuur H.4: De kruisyagi (+/- parallax) gericht op een LTE-mast in een windmolen op een meetlocatie. (Foto's: R. den Besten)

Annex I Precisie Landbouw, Smart Farming en datahuishouding

Precisie Landbouw

Precisie landbouw is een aanpak waarbij een veelheid van sensoren en meetmethoden worden ingezet om data te verzamelen over de toestand van de bodem, de omgeving en de opgroeiende landbouwproducten. Deze worden gecombineerd met satelliet data (aardobservatie, remote sensing). Het betreft hier geleidbaarheidsmetingen om de vochthuishouding te bepalen, bomen en begroeiing die de lichtval beïnvloeden te bewaken, en foto’s nemen (ook in nabij en diep-infrarood) om de staat van het gewas te bepalen. In meer kleuren fotograferen voor meer informatie is een trend, daarmee worden beeldbestanden omvangrijker. Uit deze data worden daarna besturingsbestanden gemaakt voor de machines die het gewas planten, bemesten, besproeien en uiteindelijk oogsten. Het doel is om zo effectief mogelijk om te gaan met de grond en dit te doen op ‘micro schaal, bijvoorbeeld door wijder uit elkaar te planten in schaduwrijke delen van een perceel, en anders besproeien op vochtige dan op droge plekken om zo de opbrengst te verhogen en tegelijk mest- en gewasbescherming beter te doseren (duurzamere landbouw).



Figuur I.5 Precisie Landbouw cyclus voor aardappelbouw (bron: van den borne aardappelen)

Op bewolkte dagen leveren satellietdata géén beelden van de akkers en daarvoor wordt door een aantal boeren nu drones ingezet; 10 minuten met een drone rondvliegen boven een akker levert ca. 4 GB aan foto’s op. Dergelijke beelden moeten dan met de satellietbeelden online kunnen worden gecombineerd en dat vraagt veel datacapaciteit. Daarnaast zijn er camera’s op machines geïnstalleerd (zogenaamde Close Sensing), die ook meetdata leveren.

Het combineren van data uit verschillende bronnen gedurende het seizoen (satelliet, eigen drones, bodemscans, vocht- en regenmeters en close sensing) maakt een hele nieuwe manier van landbouw mogelijk. De percelen worden namelijk in kaart gebracht met een nauwkeurigheid van een paar centimeter.

De meetdata zijn nu typisch 100 – 200 MB groot per perceel van ongeveer 3 ha. De uiteindelijke besturingsbestanden die uit verwerking resulteren zijn een paar MB. Metingen vinden plaats om de paar dagen (de frequentie varieert per soort meting). Een gemiddelde landbouwer met 75 ha land produceert per meting van zijn percelen 2,5 tot 5 GB aan kale meetdata. Per maand komt het neer op ca. 20 tot 40 GB.

Omdat bestanden ook worden gecombineerd en teruggeleverd vanuit gespecialiseerde online cloud-diensten, zorgt precisie landbouw ook voor een forse verkeersvraag in de download, die bovenop de normale consumentenvraag komt van het huishouden.

Op dit moment worden bij de geïnterviewde boer, die samenwerkt met universiteiten op een aantal proefpercelen, de data van een week verzameld en op zondag als ‘work around’ wordt er bij een vriend in het dorp geüpload naar de ‘cloud’, omdat de ADSL-aansluiting op het erf niet meer dan enkele honderden kilobit/s uploadsnelheid biedt. De capaciteit van de huidige breedband voorzieningen vormt een flessenhals voor grootschalige introductie van precisielandbouw.

Smart Farming

Smart Farming is een breder begrip dat verder strekt dan precisie landbouw en tuinbouw en ook de veeteelt omvat. De behoeften aan ICT in die andere takken en de focus waar zij verbeteringen verwachten in hun primaire proces richten zich op andere aspecten en de datahuishouding is anders.

De doelstelling van het Smart Dairy Farming project is het ondersteunen van melkveehouders met informatie en technologie bij het verbeteren van de gezondheid en levensverwachting van koeien, met als resultaat sensoren, kengetallen, beslismodellen en adviesproducten die helpen bij het maken van keuzes bij de verzorging van koeien.

De aanleiding is beter gebruik van de data die al uit melkrobots komt en het inzetten van sensoren om visuele inspectie te vervangen. Zolang veel van die sensor informatie kale datapunten betreft (bijv. lichaamstemperatuur, eetgedrag) is de hoeveelheid data bij veeteelt veel kleiner dan bij precisie landbouw. Er zijn vele sensoren. De meeste leveren echter beperkte datastromen op. Bij een sensor dient men echter ook te denken aan (geboorte)camera’s en microfoons (rumoerdetectie) in de stal om de veestapel in de gaten te houden.

Beelden vertegenwoordigen wel een grote datastroom, maar blijven tot nu toe vooral lokaal. Een verandering op dat vlak kan komen, wanneer dergelijke beelden naar centrale systemen worden doorgeloodst voor diepgaandere gedragsanalyse dan bewegings- en rumoerdetectie. Gedragsanalyse op basis van camerabeelden kan met inzet van softwaretechnieken, die nu al in het OOV-domein gebruikt worden (o.a. bij festivals en evenementen als A Serious Request) om bijv. hulpverleners te dirigeren naar iemand, die in de menigte onwel wordt.

Camerabewaking op het platteland

Een aanzienlijk deel van de datavolumes komt uit het op steeds grotere schaal inzetten van camera', die bovendien verbeteren qua resolutie: camera's op bemesting- en sproeimachines en in de stallen, naast bewakingscamera's van velden en opstallen. Het onderliggende relevante fenomeen is een toenemende inzet van camera's in het primaire bedrijfsproces op de boerderijen. Bij de geïnterviewde landbouwer stond in de hoek een scherm met 16 camera's mee te draaien. Het dataverkeer naar dat scherm bedraagt al ca. 50 Mbps, wat met de hoge resolutie en beeldkwaliteit te maken heeft (kleurenbeeld, 25 beelden per seconde). Bij veeteeltbedrijven zijn die camera's, als ze voor gedragsdetectie worden ingezet een informatiebron.

Een zware verkeerslast uit het buitengebied is echter te verwachten, en is in dit onderzoek al aangetroffen bij Greenet, wanneer boeren hun bestaande camerabeelden bij elkaar gaan back-uppen of ervoor kiezen die beelden in de "cloud" op te slaan. Het laatste wordt in de detailhandel- en MKB-kantorenmarkt al op substantiële schaal als dienstverlening verkocht bij een *kleinzakelijk pakket* over een breedbandaansluiting (tot nu vooral aan winkels en kantoren), waarbij men overal de eigen live beelden kan bekijken en de camera's besturen via een mobiele app als moderne functie.

CONTACT



Stratix B.V.
Villa Hestia - Utrechtseweg 29
1213 TK Hilversum

Telefoon: +31.35.622 2020
E-mail: office@stratix.nl
URL: http://www.stratix.nl